

32/446 (25) 1^e ex.

Onderzoek naar effecten van beheersmaatregelen op de conservering
van een Neolithische veenweg bij Nieuw-Dordrecht

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

K.E. Wit
H.Th.L. Massop
J.G. te Beest

Rapport 25

STARING CENTRUM, Wageningen, 1989



26 JAN 1990

JSN 501600 *

REFERAAT

Wit, K.E., H.Th.L. Massop en J.G. te Beest, 1989. Onderzoek naar effecten van beheersmaatregelen op de conservering van een Neolithische veenweg bij Nieuw-Dordrecht. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 25.
62 blz.; 55 fig.; 17 tab.; 3 aanh.

ISSN 0924-3070

Hydrologisch onderzoek is uitgevoerd naar de effecten van ingrepen in de waterhuishouding in een natuurgebied welke kunnen leiden tot een verbetering van de conservering van een Neolithische veenweg. Veldproeven zijn uitgevoerd voor het verkrijgen van gegevens over de hydrologische bodemconstanten. Met grondwatermodellen is de verhoging van de grondwaterstand berekend in een ruimtelijk beeld als gevolg van een aantal voorgenomen beheersmaatregelen.

Trefwoorden: veenweg, infiltratieproeven, debietmetingen, grondwaterstanden, geohydrologie, modelberekeningen.

©1989

STARING CENTRUM Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied Postbus 125,
6700 AC Wageningen
Tel.: 08370-19100; telefax: 08370-24812; telex: 75230 VISI-NL

Het Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu (IOB), de Afd. Landschapsbouw "De Dorschkamp" (LB), en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

Het Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm en op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Staring Centrum.

[RAP/25]

INHOUD

blz.

SAMENVATTING

7

1 INLEIDING

9

2 INFILTRATIEPROEVEN

11

2.1 Inrichting

11

2.2 Uitvoering

12

2.2.1 Verzameling meetgegevens

12

2.2.2 Interpretatie meetgegevens

13

3 HYDROLOGISCHE FUNCTIE VAN DE WATERLOPEN
BIJ DE ZANDWEG

21

3.1 Horizontale wateruittreding uit het veen

21

3.2 Afvoeren en grondwaterstanden

22

3.3 Interpretatie van de meetgegevens

22

3.3.1 Voeding van de sloot vanuit het veenpakket

22

3.3.2 Voeding van de sloot vanuit de zandondergrond

23

4 HYDROLOGISCHE FUNCTIE VAN DE WATERLOOP AAN DE
ZUIDWESTZIJDE VAN HET OOSTERBOS

31

4.1 Uitgevoerde metingen

31

4.2 Interpretatie van de meetgegevens

31

5 INVENTARISATIE VAN DE WATERLOPEN

35

6 BODEMFYSISCH EIGENSCHAPPEN EN MODEL CALIBRATIE

37

6.1 Bodemfysische eigenschappen van het veenpakket

37

6.2 Modelcalibratie van de onverzadigde zone

37

7 GEOHYDROLOGISCHE SCHEMATISERING EN BODEMCONSTANTEN

41

7.1 Geologische opbouw

41

7.2 Geohydrologische schematisering

42

7.3 Geohydrologische bodemconstanten

43

8 MODELBEREKENINGEN

45

8.1 Wateraanvoerbehoeftes voor berekening

45

8.2 Effecten van beheersmaatregelen

48

8.3 Conclusies en aanbevelingen

52

LITERATUUR

57

AANHANGSELS

1 Het doorlaatvermogen van de aangeboorde
wateraanvoerende pakketten in boring D45

59

2 Geohydrologische bodemconstanten per deelgebied

60

3 Figuren

61

SAMENVATTING

In de omgeving van Nieuw-Dordrecht is onderzoek uitgevoerd naar de effecten van beheersmaatregelen op de conservering van een Neolithische veenweg.

In de huidige situatie daalt de veenwaterstand 's zomers beneden het niveau van de veenweg. In die situatie kan lucht toetreden, waardoor de veenweg wordt aangetast. Dezelfde problematiek doet zich voor bij de veenbasis wanneer de stijghoogte in de zand-ondergrond daar beneden komt. Het onderzoek is gericht:

- 1 op welke wijze de veenwaterstand permanent boven het niveau van de veenweg kan worden gehandhaafd;
- 2 op welke beheersmaatregelen leiden tot een verhoging van de stijghoogte in de zandondergrond.

Door veldonderzoek is inzicht verkregen in de hydrologische situatie en zijn gegevens verkregen voor het uitvoeren van modelberekeningen.

Voor het onder 1 genoemde aspect is berekend, hoe groot de beregeningsgift dient te zijn om de veenwaterstand permanent boven het niveau van de veenweg te houden. Het vrijhouden van vegetatie van de gronden resulteert in een lagere beregeningsgift.

Voor het onder 2 genoemde aspect mag worden verwacht dat het opstuwen van de waterloop langs de beheersweg in het Oosterbos het meeste effect oplevert. Ten oosten van lokatie B25 (Fig. 2) zal de stijghoogte vrij permanent boven de veenbasis liggen, ten westen ervan ligt de stijghoogte te diep beneden de veenbasis om daar met de berekende verhogingen eenzelfde situatie te bereiken.

Voor de aanleg van het fietspad langs de beheersweg is erop aangedrongen de waterloop aan de oostzijde van de beheersweg te verbreden en eventueel uit te diepen. Met het vrijkomend materiaal kan de beheersweg aan de westzijde worden opgehoogd voor het fietspad. Door het opstuwen van de uitgegraven waterloop langs de beheersweg wordt een tweeledig doel nagestreefd: enerzijds het creëren van een bufferbassin, waaraan water kan worden onttrokken voor beregening en anderzijds het verhogen van de stijghoogte in de zandondergrond ter plaatse van de veenweg.

1 INLEIDING

Ten oosten van Nieuw-Dordrecht in de gemeente Emmen bevindt zich een restant van een Neolithische veenweg die dateert van omstreeks 2000 voor onze jaartelling (Caspari, 1982, Fig. 1). De veenweg bestaat uit een reeks aaneengesloten horizontaal gelegen boomstammen; de weg ligt op een diepte van 0,60-0,80 m - mv. in een deels afgegraven hoogveenpakket met een dikte van enkele meters dat uitwigt in de richting van de Hondsrug.

Vanaf de vervening is door ontginning en vooral door een recente regulering van de waterhuishouding in de aangrenzende landbouwgebieden zowel de veenwaterstand als de stijghoogte in de zandondergrond van de veenweg gedaald. Uit hydrologisch onderzoek van Streefkerk (1987) blijkt dat de veenwaterstand in het centrale deel van de veenweg 's zomers enige tijd beneden het niveau van de veenweg daalt (Fig. 2 en 3). In het veenpakket kan vooral onder het westelijk gedeelte van de veenweg een schijnspiegel ontstaan. Als gevolg van een mogelijke toetreding van zuurstof in die periode zal de veenweg kunnen mineraliseren en verteren. Aan de basis van het veenpakket kan eveneens mineralisatie optreden.

Uitgaande van het hydrologisch onderzoek en uit besprekingen tussen de Provincie Drenthe, Staatsbosbeheer en de Landinrichtingsdienst is een aantal beheersmaatregelen voorgesteld, die kunnen leiden tot een verbetering van de conservering van de veenweg. De beschikbare gegevens waren echter te beperkt om de effecten van beheersmaatregelen in een ruimtelijk beeld voldoende te specificeren. Het bovengenoemd aspect en de voorgenomen werkzaamheden voor het herinrichtingsplan in het deelgebied Emmen in de naaste omgeving van de veenweg, hebben geleid tot een onderzoeksopdracht van de Landinrichtingsdienst aan het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), waarin zijn opgenomen:

- uitvoering van infiltratieproeven op twee lokaties langs de veenweg. De infiltratieproeven dienen informatie aan te leveren over de hydrologische situatie en de hydraulische weerstand van de verschillende lagen in het veenpakket.
- uitvoering van debietmetingen in de waterlopen langs de zandweg (beheersweg) in het Oosterbos met de opname van grondwaterstanden. Met deze metingen wordt inzicht verkregen in de hydrologische functie van deze waterlopen: of de waterlopen worden gevoed vanuit de zandondergrond of met horizontaal uitstromend water uit het veenpakket aan weerszijden.
- bepaling van de voedingsweerstand van infiltrerende of drainerende waterlopen.
- inventarisatie van het waterlopenpatroon in het modelgebied. Van belang hierbij is welke waterlopen in de winter- en zomer-situatie watervoerend zijn.

- het vaststellen van de bodemfysische eigenschappen van het veenpakket op grond van literatuurgegevens.
- het opzetten van een geohydrologische schematisering van de ondergrond en het toekennen van hydrologische bodemconstanten aan de te onderscheiden lagen. Hiervoor zal een boring tot 70 m diepte worden uitgevoerd, waarbij in de watervoerende pakketten filters zullen worden gesteld.
- het uitvoeren van modelberekeningen. Met het model SWACROP (Wesseling, e.a., 1988) zal voor het veenpakket een aantal specifieke jaren worden doorgerekend om de waterbehoefte voor beregening of bevoeiing van de veenweg vast te stellen voor een permanente inundatie. Met het model FEMSAT (Querner, 1984, 1988) zal voor een modelgebied van globaal 800 ha in superpositie een aantal situaties worden doorgerekend om inzicht te verkrijgen in het effect van de voorgestelde maatregelen.

In dit rapport is de methode van onderzoek beschreven en zijn conclusies hieruit en aanbevelingen opgenomen.

2 INFILTRATIEPROEVEN

De infiltratieproeven zijn in 1988 uitgevoerd langs de veenweg bij de buizen B25 en B26 (Fig. 2). De keuze voor deze twee locaties is er voornamelijk op gebaseerd dat het problematisch is de weg daar te conserveren en wel vooral bij B26. Het primaire doel van de infiltratieproeven is inzicht te verkrijgen in de mogelijkheden om 's zomers door wateraanvoer de veenwaterstand permanent boven het niveau van de veenweg te handhaven. De meest ideale situatie hierbij zou zijn dat een deel van het neerslagoverschot in de winter hiervoor zou kunnen worden gebruikt. Uit het onderzoek van Streefkerk (1987) blijkt dat een belangrijk deel van het neerslagoverschot verticaal wegzijgt naar de zandondergrond. Bij dit proces zijn de weerstandbiedende eigenschappen van het veenpakket van invloed op het verschil tussen de veenwaterstand en de stijghoogte in de zandondergrond. Bij lage waarden voor de verticale weerstand zal de veenwaterstand 's zomers dieper wegzakken; dan is de wateraanvoerbehoefte groter dan wanneer de verticale weerstand hoog is.

2.1 Inrichting

Voor beide proeven is een gebied uitgezet van 100 m² in de vorm van een cirkel. Op de rand van de cirkel is een sleuf gegraven tot een diepte van 40 cm. Op de bodem en tegen de buitenkant van de sleuf is plastic folie aangebracht, waarna de sleuf is gedempt en de bovengrond stevig is aangedrukt. Op deze wijze is een ondoorlatende rand verkregen rondom de cirkel tot een diepte van 40 cm. Hierna zijn volgens een bepaald patroon qua diepte en onderlinge afstand filters gesteld in het veenpakket en in de zandondergrond. Voor het tegengaan van lekkage langs de filters in het veen zijn zogenaamde puntfilters gebruikt. Hierbij bevindt zich onder in de meetbuis een geperforeerde buis van 50 cm, die aan de onderkant is voorzien van een houten punt, waarvan de diameter gelijk is aan die van de meetbuis. In ingeschoven toestand wordt de meetbuis tot de gewenste diepte in het veen gedrukt en vervolgens 10 cm omhoog getrokken waarbij het filter vrijkomt. Voor de filterstelling in de zandondergrond is een gat geboord tot de gewenste diepte, het boorgat is naderhand afgedicht met kleibrokken. In Fig. 4 zijn de ligging van de meetpunten ten opzichte van het infiltratiegebied en de filterdiepten aangegeven.

Voor het permanent inunderen van het cirkelvormige infiltratiegebied - een laag water van circa 5 cm op het maaiveld - zijn zowel bij B25 als B26 containers geplaatst met een inhoud van 3-5 m³. Deze containers zijn met water gevuld uit de waterloop langs de beheersweg in het Oosterbos. Vanuit de containers naar de infiltratiegebieden kan de wateraanvoer met een vlottersysteem

worden geregeld. Aan de hand van de gemeten neerslag, met een regenmeter, en de gemeten openwaterverdamping, met een ingegraven bak die met water is gevuld, is de invloed van neerslag en verdamping op het gemeten debiet uit de containers geëlimineerd.

2.2 Uitvoering

De opzet van de proef is erop gericht informatie over de hydrologische eigenschappen te verkrijgen van de aanwezige lagen tussen de gestelde filters. Hiervoor zijn gegevens nodig van het stijghoogteverschil over deze lagen en de daarmee corresponderende verticale fluxen. De stijghoogteverschillen zijn verkregen uit opnamen van grondwaterstanden. Voor het vaststellen van de fluxen in relatie tot de diepte is eerst het netto infiltratiedebiet aan het maaiveld gemeten. Het infiltratiedebiet uit de containers is gecorrigeerd voor neerslag op en verdamping uit de infiltratieplas (Fig. 5). De neerslag is gemeten; voor de verdamping zijn zowel gemeten waarden als gegevens hierover van het station Eelde gebruikt. Voor dagen zonder neerslag was een goede relatie aanwezig tussen de gemeten openwaterverdamping en waarden hiervoor van het station Eelde. Voor dagen met neerslag was het niet mogelijk om de openwaterverdamping apart te meten, voor die dagen zijn gegevens hierover van het station Eelde gehanteerd. De resultaten van de twee infiltratieproeven zullen apart worden behandeld.

2.2.1 Verzameling meetgegevens

Infiltratieproef B26

Voor het vastleggen van de uitgangspositie van infiltratieproef B26 zijn allereerst in alle filters de grondwaterstanden opgenomen. Hierbij bleek dat alle filters in het veen droog stonden, dit was eveneens het geval voor de reeds aanwezige filters A, B en C van B26. De filters in de zandondergrond op een diepte van 220-250 cm - mv. stonden eveneens droog. Alleen in de filters in de zandondergrond (350-380 cm - mv.) was een stijghoogte waar te nemen. Op 19 september 11.35 uur is begonnen het infiltratiegebied onder water te zetten. Om 14.00 uur was alleen op 40-50 cm - mv. binnen het infiltratiegebied een waterstand waar te nemen in de meeste filters. Om 18.00 uur 's avonds was 5,8 m³ geïnfilteerd, wat overeenkomt met een regenbui van globaal 60 mm. De volgende dag om 10.00 uur stond het infiltratiegebied grotendeels droog; op dat moment was vanaf het begin 10,1 m³ geïnfilteerd ofwel ruim 100 mm. Vanaf dat tijdstip was het peil in het infiltratiegebied op een constant niveau te handhaven.

Na twee dagen infiltratie begon zich eveneens in de filters op 90-100 cm - mv. binnen het infiltratiegebied een waterstand in te stellen. In het verdere verloop van de infiltratieproef tot 3 oktober heeft het infiltratiedebiet zich gestabiliseerd evenals het stijghoogteverloop in de filters op 40-50 en 90-100 cm - mv. In de filters op 140-150 en 220-250 cm - mv. is tijdens het infiltreren geen waterstand waargenomen. Het voorgaande betekent dat zich in het veenpakket een schijngrondwaterspiegel heeft ingesteld. In Fig. 6 is het verloop van het infiltratiedebiet weergegeven en in Fig. 7 de gemeten stijghoogten alsmede het niveau van de waterspiegel in het infiltratiegebied.

Infiltratieproef B25

Met infiltratieproef B25 is begonnen op 27 september om 11.20 uur. Voor de aanvang is de uitgangssituatie vastgesteld, waarbij in alle filters een waterstand aanwezig bleek te zijn. In de filters op het niveau 40-50 cm - mv. bleek de veenwaterstand aanmerkelijk ondieper te zijn dan verwacht mocht worden uit het stijghoogteverloop in de filters van B25 (Fig. 3c). Het moet niet worden uitgesloten dat de fluctuatie in de filters van B25 zijn beïnvloed door de nabij gelegen greppel. Dit kan eveneens het geval zijn voor de filters van B24 en B26. Vanaf het begin van de infiltratieproef was het peil op een constant niveau te handhaven. In de eerste dag van de infiltratieperiode is 3,0 m³ geïn-filtreerd of 30 mm. De omstandigheden voor het handhaven van een waterstand boven de veenweg zijn aanmerkelijk gunstiger dan bij B26.

Gedurende de infiltratieperiode van 27 september t/m 13 oktober bedroeg de neerslag 68,7 mm (Fig. 5), dit komt overeen met 4,3 mm.d⁻¹. De hoge neerslagintensiteit had tot gevolg dat het peil in het infiltratiebassin voortdurend steeg. Op het perceel vond plasvorming plaats in met name de periode van 5 t/m 10 oktober. Op grond van de gemeten waterstanden in alle filters kan worden geconstateerd dat het gehele profiel tot in de zandondergrond verzadigd is. In Fig. 8 is het verloop van het infiltratiedebiet weergegeven en in Fig. 9 zijn de gemeten stijghoogten en het waterniveau in het infiltratiebassin aangegeven.

2.2.2 Interpretatie meetgegevens

Infiltratieproef B26

Voor de berekening van de hydraulische weerstand van de lagen, waarin de filters zijn gesteld, is steeds hetzelfde gebied aangehouden als van het infiltratiebassin, dus 100 m². De waarden per laag zijn berekend met de formule:

$$c_n = \frac{\bar{h}_{n-1} - \bar{h}_n}{\alpha_n \cdot V_z} \quad (1)$$

waarin:

- c_n = hydraulische weerstand van laag n ($n = 1, 2, 3, \dots$) (d)
 \bar{h}_{n-1} = gemiddelde stijghoogte aan de bovenkant van laag n (m)
 \bar{h}_n = gemiddelde stijghoogte aan de onderkant van laag n (m)
 v_z = infiltratie uit bassin (m.d⁻¹)
 α_n = correctiefactor infiltratie uit bassin voor laag n

Voor laag nr. 1 (0-45 cm) is $\alpha = 1$, omdat vanwege een ondoorlatende wand tot een diepte van 40 cm rondom het infiltratiebassin het totale infiltratiedebiet door deze laag verticaal naar de ondergrond is gepercoleerd. In Fig. 10 is het stromingsbeeld aan het eind van de infiltratieperiode op 3 oktober weergegeven. Het niveau van de waterspiegel in het infiltratiebassin, bij benadering gelijk aan de hoogte van het omringende maaiveld, is als referentieniveau gebruikt en op nul gesteld. De waarden bij de filters vermeld, geven aan hoeveel cm de stijghoogten in de filters beneden referentieniveau (maaiveld) liggen.

Voor het verkrijgen van een gemiddeld beeld zijn waarden van corresponderende filters gemiddeld volgens een profieldoorsnede die door M gaat en een hoek van 45° maakt met ondermeer raai W4 - 04. Vanaf halverwege de niveaus 45 en 95 cm - mv. zijn stroombanen getekend loodrecht op de equipotentiaallijnen. Uit Fig. 10 valt af te leiden dat 74% van het infiltratiedebiet voor een oppervlak van 100 m² gemiddeld percoleert van 45 naar 95 cm - mv. Voor de betreffende laag stroomt 26% zijdelings weg. Volgens dezelfde procedure wordt voor de laag van 95 tot 145 cm - mv. voor α een waarde verkregen van 0,52. Voor de dieper gelegen lagen tot aan de stijghoogte in de zandondergrond is de correctiefactor verder onveranderd gelaten, aangezien daar een onverzadigde grondwaterstroming optreedt. Nu de waarden voor α bekend zijn, kan uit Fig. 6 en 7 met (1) de verticale weerstand per laag binnen het infiltratiegebied worden berekend na het bereiken van een stationaire situatie. Uit Fig. 6 blijkt dit bij benadering het geval te zijn aan het eind van de infiltratieperiode. Het relatief grote infiltratiedebiet daarvoor en vooral in de eerste dagen heeft gediend voor het opbouwen van een grondwaterstand zowel binnen het infiltratiegebied als daarbuiten. In Tabel 1 is het gemiddeld stijghoogteverschil van de waterstanden binnen het infiltratiegebied voor een tweetal lagen weergegeven. Hierbij is dus gebruik gemaakt van de Fig. 7a, b en c, waarbij uit het waterniveau in het infiltratiebassin en de stijghoogten in de filters op 40-50 en 90-100 cm - mv. allereerst per meetpunt het stijghoogteverschil is bepaald. Uit Fig. 7a en b volgt dat het stijghoogteverschil per meetpunt voor de laag 0-45 cm - mv. weinig varieert, voor de laag 45-95 cm - mv. zijn de variaties veel groter, zoals uit Fig. 7c blijkt.

Tabel 1 Stijghoogteverschillen voor infiltratieproef B26.

Datum	Tijd	Stijghoogteverschillen in cm per laag		
		0-45 cm - mv.	45-95 cm - mv.	95-145 cm - mv.
19/9	11.00	-	-	-
19/9	11.35	aanvang infiltratieproef		
19/9	13.30	39,8	-	-
19/9	17.30	25,0	-	-
20/9	10.30	7,6	-	-
20/9	13.00	8,5	-	-
20/9	16.00	6,8	-	-
21/9	9.30	4,8	-	-
21/9	13.30	5,1	93,4	-
22/9	10.30	3,9	87,1	-
23/9	9.30	3,6	79,3	-
24/9	17.30	3,7	72,4	-
26/9	9.30	3,8	65,4	-
29/9	9.30	3,0	58,9	-
30/9	10.30	3,2	58,6	-
3/10	10.30	2,9	56,4	-

Uit Fig. 6 volgt dat het infiltratiedebiet in een evenwichtssituatie nadert tot 10,8 mm.d⁻¹. Uitgaande van deze waarde is de verticale weerstand van de eerste twee lagen berekend, waarbij verder gebruik is gemaakt van het gemiddeld stijghoogteverschil in de periode 29/9 tot 3/10 uit Tabel 1 en de eerder gegeven α -waarden.

De verkregen resultaten zijn:

* laag 0-45 : c = 2,8 d

* laag 45-95 : c = 73 d

De verticale doorlatendheid is te berekenen met:

$$k_{vn} = \frac{D_n}{c_n} \quad (2)$$

waarin: k_{vn} = verticale doorlatendheid in laag n (m.d⁻¹)

D_n = dikte laag n (m)

c_n = hydraulische weerstand laag n (d)

Substitutie van de bekende waarden in (2) geeft na uitwerking:

* laag 0-45 : $k_v = 0,161$ m.d⁻¹

* laag 45-95 : $k_v = 0,068$ m.d⁻¹

Reeds is vermeld dat tengevolge van de infiltratieproef een schijnspiegel is ontstaan op een diepte tussen 95 en 145 cm - mv. Voor het onverzadigde deel van het bodemprofiel, tussen de basis van de schijnwaterspiegel en de grondwaterspiegel in de zandondergrond, is met (1) geen verticale weerstand te berekenen. Voor deze lagen is het verloop van de drukhoogte tot een diepte van 365 cm - mv. op 3 oktober in Fig. 11 weergegeven. Hierbij is gebruik gemaakt van gemeten drukhoogten en de profielopbouw. De indruk bestaat dat het infiltratieproces stagneert op een laag veenslik, die voorkomt vanaf 1,25 m - mv. Uit Fig. 11 en een waarde voor v_z is k_{vn} te berekenen met de formule:

$$\alpha_n v_z = k_{vn} \left(1 - \left\{ \frac{dh}{dz} \right\}_n \right) \quad (3)$$

waarin:

v_z = infiltratie uit bassin (m.d⁻¹)

α_n = correctiefactor infiltratie uit bassin voor laag n

k_{vn} = verticale doorlatendheid of
capillair geleidingsvermogen voor laag n (m.d⁻¹)

$\left\{ \frac{dh}{dz} \right\}_n$ = gradiënt zuigspanning voor laag n

Bij een positieve drukhoogte heeft k_v betrekking op de verzadigde doorlatendheid, bij een negatieve drukhoogte op het capillair geleidingsvermogen. Daar de negatieve drukhoogte beperkt blijft tot ongeveer 20 cm zal het capillair geleidingsvermogen voor die waarde weinig afwijken van de verzadigde doorlatendheid. Voor de berekening van de verticale weerstand is deze aanname gehanteerd, de berekende verticale weerstand van de lagen beneden 1,20 m - mv. kan daardoor in geringe mate zijn overschat.

In Tabel 2 zijn de resultaten van de berekeningen samengevat. Voor de laag 125-140 cm - mv. wordt de laagste doorlatendheid berekend; in deze laag zal een schijnwaterspiegel ontstaan bij een neerwaartse flux groter dan 1,4 mm.d⁻¹. Met de c-waarden uit Tabel 2 is voor grondwaterstanden boven het niveau van 1,40 m - mv. de flux op dat niveau te berekenen met de formule:

$$q = \frac{1,4 - h^*}{\Sigma c} \quad (4)$$

waarin: q = flux op een diepte van 1,40 m (m.d⁻¹)

h^* = diepte grondwaterstand beneden maaiveld (m)

Σc = verticale weerstand van de lagen tussen
 h^* en 1,40 m - mv. (d)

Substitutie van waarden voor h^* , overeenkomend met de laagindeling en corresponderende waarden voor c_n in (4), leidt na uitwerking tot Fig. 12.

Tabel 2 Berekende verticale doorlatendheid en hydraulische weerstand per laag van infiltratieproef B26 met (3) en (2) en Fig. 10 en Fig. 11.

Laag (cm - mv.)	v_z (mm.d ⁻¹)	α	$\frac{dh}{dz}$	k_v (cm.d ⁻¹)	c (d)
0-45	10,8	1	0,933	16,1	3
45-95	10,8	0,74	-0,120	0,71	70
95-125	10,8	0,52	-0,120	0,50	60
125-140	10,8	0,52	-3,067	0,14	107
140-220	10,8	0,52	0	0,56	143
220-365	10,8	0,52	0,338	0,85	171

Bij de aanvang van de infiltratieproef was in het veenpakket geen grondwaterspiegel aanwezig. Als gevolg van de infiltratieproef is in het infiltratiegebied en naaste omgeving een schijnwaterspiegel ontstaan. Halverwege de infiltratieperiode zijn enkele regenbuien van circa 20 mm gevallen (Fig. 5). Deze neerslag heeft geleid tot het ontstaan van schijnwaterspiegels bij Z4, O4, N4 en N6; bij Z5, W4 en W5 bleven alle filters droog. Hieruit zou kunnen worden afgeleid dat op laatstgenoemde meetlokaties het handhaven van een grondwaterstand ongunstiger is. Uit Fig. 7f volgt dat de infiltratie heeft geleid tot een verhoging van de stijghoogte van de waterstand in de zandondergrond met globaal 20 cm.

De diepte van de veenbasis bedraagt in de raai Z5 - N6 2,15 tot 2,30 m - mv. De stijghoogte in de zandondergrond is 3,30 m - mv. en de waterstand ligt dus op een niveau van 110 cm beneden de veenbasis.

Infiltratieproef B25

De presentatie van de gegevens en de verwerking daarvan heeft voor infiltratieproef B25 op dezelfde wijze plaats gevonden als voor infiltratieproef B26. Het meest kenmerkende verschil was dat in alle filters een waterstand is gemeten. Tevens is het veenpakket dikker, waardoor filters zijn gesteld op 200-210 cm - mv. In Tabel 3 is het gemiddeld stijghoogteverschil binnen het infiltratiegebied voor de onderscheiden lagen weergegeven. Hierbij kan worden opgemerkt dat het stijghoogteverschil per meetpunt voor de laag 0-45 cm - mv. weinig varieert (Fig. 9b). Hetzelfde geldt voor het totale stijghoogteverschil voor het gehele veenpakket, zie fluctuatiefilter 05 in Fig. 9i. Dit filter is op grond van een naderhand te geven isohypsenkaart als representatief beschouwd voor de stijghoogte van de waterstand in de zandondergrond van de infiltratieproef. Voor de overige lagen afzonderlijk, vertoont het stijghoogteverschil een grotere variatie dan wanneer twee opeenvolgende lagen samen worden beschouwd.

Dit zou er op kunnen wijzen dat de weerstandbiedende laagjes qua diepte een grillig verloop hebben. Het verloop van filter N2 in Fig. 9d vertoont een geheel afwijkend beeld. Het is niet duidelijk aan te geven wat hiervan de oorzaak is; daarom is dit filter buiten beschouwing gelaten.

Tabel 3 Stijghoogteverschillen per laag voor infiltratieproef 825.

Datum	Tijd	Stijghoogteverschillen in cm per laag				
		0-45 cm - mv.	45-95 cm - mv.	95-145 cm - mv.	145-205 cm - mv.	205-335 cm - mv.
27/9	9.00	-	58,7	39,5	39,3	-
27/9	11.20	aanvang infiltratieproef				
27/9	14.20	25,6	63,3	40,6	39,8	173,5
28/9	10.50	11,3	69,7	41,7	41,8	166,2
29/9	10.20	9,6	66,1	42,5	42,6	170,0
30/9	14.20	8,5	64,9	44,3	44,5	169,0
1/10	15.20	7,1	63,9	47,1	45,7	166,6
3/10	12.20	4,7	59,6	51,5	49,1	165,6
5/10	10.50	3,9	55,7	53,4	44,7	172,2
7/10	10.20	3,4	51,0	52,7	44,7	179,7
11/10	14.20	6,2	47,7	50,9	48,0	172,7
13/10	12.20	5,4	47,0	52,0	47,8	165,5
18/10	12.20	3,3	45,1	54,8	49,3	169,4

In Fig. 13 is het stromingsbeeld op 3 oktober weergegeven, uit deze figuur zijn de α -waarden voor de onderscheiden lagen afgeleid. Aan het eind van de infiltratieperiode op 18 oktober is nog eens een dergelijke figuur samengesteld. Aangezien deze nauwelijks bleek te verschillen met Fig. 13 wordt volstaan met de presentatie van deze figuur. De aangegeven waarden bij de filters in Fig. 13 zijn, met uitzondering van die op 40-50 cm - mv., op een enigszins afwijkende wijze verkregen. Vanwege een heterogeniteit in de laagopbouw, die met name tot uiting komt in Fig. 9e en 9g, is een zekere nivellering toegepast door per niveau een middeling uit te voeren met de waarden van de aangrenzende filters. Hierdoor is het beeld rustiger geworden; voor de afgeleide α -waarden is het bovengenoemde niet van invloed geweest. Aan het eind van de infiltratieperiode naderde het infiltratiedebiet tot een waarde van $1,9 \text{ mm.d}^{-1}$. Voor deze waarde, de stijghoogteverschillen voor de twee laatstgenoemde data uit Tabel 3 en de α -waarden uit Fig. 13 zijn per laag met (1) en (2) waarden berekend voor de c-waarde en de verticale doorlatendheid. In Tabel 4 zijn zowel de gebruikte waarden als de rekenresultaten samengevat.

Tabel 4 Berekende verticale doorlatendheid en hydraulische weerstand per laag voor infiltratieproef B25 met (1) en (2) en Fig. 13.

Laag (cm - mv.)	Stijghoogte- verschil (cm)	α	c (d)	k_v (cm.d ⁻¹)
0-45	4,4	1,0	23	2,0
45-95	46,1	0,79	307	0,16
95-145	53,4	0,60	468	0,11
145-205	48,6	0,52	492	0,12
205-335	167,5	0,45	1959	0,07

In Fig. 14 is het verloop van de drukhoogte met de diepte op 18 oktober weergegeven. Uit deze figuur kan met (3) en (2) op dezelfde wijze als voor infiltratieproef B26 de verticale doorlatendheid en c-waarde worden berekend. De rekenresultaten zijn in Tabel 5 weergegeven.

Tabel 5 Berekende verticale doorlatendheid en hydraulische weerstand per laag voor infiltratieproef B25 met (3) en (2), en Fig. 13 en Fig. 14.

Laag (cm - mv.)	v_z (mm.d ⁻¹)	α	$\frac{dh}{dz}$	k_v (cm.d ⁻¹)	c (d)
0-45	1,9	1	0,927	2,6	17
45-95	1,9	0,79	0,098	0,17	294
95-145	1,9	0,60	-0,096	0,10	500
145-205	1,9	0,52	0,178	0,12	500
205-320	1,9	0,45	-0,473	0,06	1917

De geringe verschillen tussen Tabel 4 en 5 kunnen worden verklaard doordat in de eerste tabel de meetwaarden voor het stijghoogteverschil van de laatste twee data zijn beschouwd, en in de tweede tabel voor de laatste laag een dikte is genomen tot aan de zandondergrond. Uit Fig. 14 blijkt dat de stijghoogte in de zandondergrond praktisch gelijk is aan het niveau van de veenbasis. Weliswaar is de situatie veel minder kritisch dan bij B26, maar het is te verwachten dat in een langdurig droge periode de stijghoogte zal dalen en dan in de poriën lucht zal kunnen toetreden. Voor het verkrijgen van een $q(h)$ -relatie is (4) vervangen door de formule:

$$q = \frac{h_z^*(h^*) - h^*}{\Sigma c} \quad (5)$$

waarin: h_z^* = stijghoogte in de zandondergrond beneden maaiveld (m)

Uit Fig. 28 blijkt dat de stijghoogte in de zandondergrond een fluctuatie vertoont van 0,40-0,50 m. Deze fluctuatie kan als een functie worden beschouwd van de diepte van de veenwaterstand h^* . Bij een veenwaterstand gelijk aan maaiveld is verondersteld dat de stijghoogte 0,50 m boven de veenbasis ligt en bij een veenwaterstand van 1,45 m - mv. is hiervoor 0,10 m genomen. Tussen de twee punten is een enigszins kromlijinig verloop verondersteld. Aangezien het verschil tussen de veenwaterstand en de stijghoogte in de zandondergrond relatief groot is, zie Tabel 3, zal een zekere onnauwkeurigheid in de waarde voor h^* van weinig invloed zijn op de berekende flux. Substitutie van h_z^* waarden voor h^* overeenkomend met de laagindeling, waarden voor h_z^* en corresponderende waarden voor Σc leiden na uitwerking tot Fig. 15.

Voor een zekere toetsing van de $q(h)$ -relatie zijn drukhoogteprofielen berekend met (3), waarbij $\alpha_n = 1$. De flux v_z volgt voor een bepaalde diepte beneden maaiveld of overgang tussen twee lagen uit Fig. 15, vervolgens wordt met de waarden van k_v van de onderliggende lagen het drukhoogteverloop met de diepte berekend (Fig. 16). In de figuur is verder de fluctuatie van de filters A, B en C van B24 en B25 aangegeven die is afgeleid uit Fig. 3a en 3b. De fluctuatie van B24 past redelijk in het patroon van de berekende fluctuatie.

3 HYDROLOGISCHE FUNCTIE VAN DE WATERLOPEN BIJ DE ZANDWEG

Ten behoeve van een gewenste drooglegging van de doorgaande zandweg(en) in het gedeelte van het Oosterbos, tussen de Herenstreek en de Verlengde Splitting, zijn aan weerszijden van de zandweg(en) ontwateringssloten gegraven. Het beginpunt van de waterlopen ligt bij de Herenstreek en de afvoer vindt plaats langs de zuidzijde van de Verlengde Splitting naar Kanaal G. De waterlopen hebben praktisch het gehele jaar afvoer. De waterloop aan de oostzijde van de zandweg uitgezonderd het laatste gedeelte, heeft gemiddeld een lager peil, is goed onderhouden en is derhalve het belangrijkste. Een zelfde functie heeft de waterloop vanaf de Verlengde Splitting aan de zuidwestzijde van de zandweg naar de splitsing, waar door een duiker afvoer plaatsvindt naar de waterloop oostelijk van de zandweg (Fig. 17). De waterlopen aan de andere zijde van de zandweg zijn veelal ondieper, plaatselijk grotendeels dichtgegroeid, zodat de drainerende functie van deze waterlopen gering zal zijn. Door plaatselijk aanwezige duikers of een directe verbinding vindt afvoer plaats naar de goed onderhouden waterloop.

De waterloop vanaf de Herenstreek aan de oostzijde van de zandweg is bij een voormalig spoorviaduct onderbroken, de afvoer vindt plaats door een vaste overloop midden onder de weg op een duiker tussen de westelijk en verder oostelijk verlopende waterloop. In deze waterloop kan het peil met twee stuwen worden geregeld (Fig. 17). Over deze waterlopen is de vraag gesteld of deze worden gevoed vanuit de zandondergrond dan wel met horizontaal uittredend water uit het veenpakket aan weerszijden van de weg. Een directe oppervlakteafvoer van het veenpakket op de waterlopen is niet in het onderzoek betrokken.

Een indicatie diende te worden gegeven voor de mogelijkheid om door een peilverhoging in de waterlopen langs de zandweg een verhoging van de stijghoogte in het zandpakket bij de veenweg te realiseren. Afhankelijk van een mogelijke peilverhoging zou dan de zandweg moeten worden opgehoogd om drooglegging hiervan te waarborgen.

3.1 Horizontale wateruittreding uit het veen

Voor het meten van de horizontale wateruittreding uit het veen is gebruik gemaakt van een meetgoot: 60,5 cm breed en 100 cm lang. Deze goot heeft een enigszins wigvormige bodem en verder aan de lange zijden en de achterkant een opstaande rand. Aan de achterkant bevindt zich bij de bodem een opening met een afvoerbuys, zodat het uittredende water kan worden opgevangen. De meetgoot is 30-40 cm boven de waterspiegel enigszins naar boven gericht over een lengte van 80-90 cm in de veenwand gedrukt.

3.2 Afvoeren en grondwaterstanden

Voor het verkrijgen van inzicht in de hydrologische functie van de waterlopen langs de zandweg, is de aandacht geconcentreerd op het eerste gedeelte hiervan, namelijk vanaf de oorsprong tot aan de eerste stuw in de waterloop langs de oostzijde van de zandweg. Het uitgevoerde onderzoek betreft:

- afvoermetingen;
- het opnemen van slootpeilen en grondwaterstanden.

De metingen zijn uitgevoerd in een natuurlijke situatie en bij een onderbemaling van de waterloop langs de oostzijde van de weg vanaf de oorsprong tot het voormalig spoorviaduct.

De afvoeren zijn enerzijds gemeten via een overstort bij de eerste stuw en verder met een watermeter bij de uitgevoerde onderbemaling. Voor het opnemen van grondwaterstanden en slootpeilen zijn reeds aanwezige peilfilters in de zandondergrond in raai B gebruikt en aanvullend geplaatste buizen en peilmerken in zowel raai B als in een nieuwe raai A (Fig. 18). Bij de nieuwe buizen is het filter gesteld in de zandondergrond en veelal is tevens een ondiep filter, aangeduid met lb, ongeveer ter hoogte van de grondwaterspiegel in het bovenliggende veenpakket gesteld.

3.3 Interpretatie van de meetgegevens

3.3.1 Voeding van de sloot vanuit het veenpakket

De voeding van de sloot is hierbij gebaseerd op de veronderstelling dat vanuit het veenpakket een horizontale uittreding van water plaats vindt. Dit water stroomt vervolgens in praktisch verticale richting door een randzone van het veenpakket naar de voet van de sloot. Voor het meten van deze randstroming is de meetgoot geïnstalleerd aan de oostzijde van de zandweg bij raai B op 14 okt. De meetresultaten zijn in Tabel 6 weergegeven.

Tabel 6 Afvoer van de meetgoot aan de oostzijde van de zandweg bij raai B.

Periode	Afvoer (cm ³)	Afvoer (cm ³ .d ⁻¹)
14/10 (12.00)-17/10 (12.00)	950	317
17/10 (12.00)-18/10 (10.00)	250	273
18/10 (10.00)-19/10 (10.00)	225	225
19/10 (10.00)-20/10 (10.00)	135	135

De meetreeks vertoont een afnemende tendens, wellicht is hierbij nog een invloed aanwezig van de relatief hoge neerslag in het begin van de tweede week van oktober (Fig. 5). Indien het gemid-

delde van de reeks wordt genomen, bedraagt de uittreding per strekkende meter:

$$\frac{100}{60,5} \times 0,000238 = 0,0004 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$$

De meetgoot is vervolgens enkele meters verder opnieuw geïnstalleerd. De meetresultaten waren hier sterk wisselend, het is niet uitgesloten dat een enkele keer de meetbak is geleege. De hoogst gemeten waarde was $0,0008 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$, terwijl verder over een aantal dagen in het geheel geen afvoer is gemeten. Voor de horizontale uittreding uit het veenpakket is per strekkende meter een waarde van $0,0004$ - $0,0008 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$ verkregen. Gezien het geringe oppervlak van het talud van het onderzochte veenpakket dient de verkregen waarde met enig voorbehoud te worden gehanteerd. De relatief lage waarde wordt onderbouwd met informatie uit een aantal raaien dat de horizontale stroming in het veenpakket praktisch is te verwaarlozen (Streefkerk, 1987).

3.3.2 Voeding van de sloot vanuit de zandondergrond

Uit par. 3.3.1 volgt dat de directe voeding vanuit het veenpakket naar alle waarschijnlijkheid praktisch nihil is. Deze conclusie impliceert een voeding van de waterlopen langs de zandweg vanuit de zandondergrond, wat inhoudt dat er een relatie aanwezig moet zijn tussen de afvoer van de waterlopen en het grondwaterregime in de omgeving. Het onderzoek heeft zich geconcentreerd op het verkrijgen van meer inzicht in deze relatie. Zoals reeds in paragraaf 3.2 is aangegeven, is hiervoor een gedeelte van de waterloop geselecteerd vanaf de oorsprong tot de 1e stuw in de waterloop aan de oostzijde van de zandweg. In de periode van 12 t/m 14 oktober zijn dagelijks de grondwaterstanden en slootpeilen opgenomen in raai A en B en is de overstorthoogte gemeten bij de eerste stuw. De afvoer is berekend met de formule:

$$Q = CBh^{3/2} \quad (6)$$

waarin: Q = afvoer (l.s^{-1})
 C = stuwconstante
 B = stuwbreedte (m)
 h = overstorthoogte (cm)

Voor de stuw met een schotbalkconstructie is voor de stuwconstante een waarde vastgesteld van 2,1 op grond van ijkmetingen met een watermeter bij de naderhand uitgevoerde onderbemaling. De breedte B van de stuw is 0,71 m. In Tabel 7 zijn de meetgegevens en berekende afvoeren weergegeven.

Tabel 7 Afvoer van de eerste stuw.

Datum	Overstorthoogte (cm)	Afvoer (l.s ⁻¹)
12/10 (10.00)	1,8	3,60
13/10 (10.00)	1,5	2,74
(14.30)	1,5	2,74
14/10 (13.30)	1,6	3,02

De gemiddelde afvoer voor de gehele periode in Tabel 7 kan worden gesteld op 3 l.s⁻¹. Deze afvoer betreft de waterloop aan de oostzijde van de zandweg vanaf het beginpunt tot de eerste stuw (lengte 1000 m) en tevens de waterloop aan de westzijde vanaf het beginpunt tot het voormalig spoorviaduct (lengte 750 m, Fig. 17). Aangezien laatstgenoemde waterloop plaatselijk grotendeels is dichtgegroeid en bij het viaduct voor de duiker geen zichtbare stroming aanwezig was, zal de bijdrage van deze waterloop aan de gemeten afvoer van weinig betekenis zijn.

Op 17 oktober is de bovenkant van de eerste stuw met 29 cm verlaagd; van de verderop gelegen stuw is eveneens een aantal schotbalken verwijderd. Om 11.15 uur is de onderbemaling aangevangen van de waterloop aan de oostzijde van de weg tot aan het viaduct. In de eerste 4 uur was het debiet van de onderbemaling 69 m³.uur⁻¹ of 19,2 l.s⁻¹. Dit water is afgevoerd naar de waterloop aan de oostzijde voorbij het viaduct; door de duiker bij het viaduct stroomde volgens taxatie ongeveer 1 l.s⁻¹. Het debiet bij de stuw kan dus worden gesteld op 20,2 l.s⁻¹. De overstorthoogte in de beschouwde periode was 5,7 cm. Voor de stuwconstante wordt dan een waarde van 2,1 verkregen. Het debiet op de eerste dag van de onderbemaling had grotendeels betrekking op een verlaging van het peil. Op 18 oktober was de gemiddelde afvoer 9 l.s⁻¹ voor het onderbemalen slootpand. Zowel de westelijk gelegen sloot voor de duiker als de oostelijk gelegen sloot voor de overloopconstructie waren plaatselijk drooggevallen. Uit de gemiddelde peilverlaging van 1,2 cm.uur⁻¹ bij een gemiddelde breedte van 2,0 m volgt, dat de bergingsverandering 5 l.s⁻¹ heeft bijgedragen aan het debiet van 9 l.s⁻¹. De drainage van de sloot was dus 4 l.s⁻¹. Op 19 oktober was de afvoer 4 l.s⁻¹, de slootpeilverlaging was te verwaarlozen, zodat deze afvoer betrekking heeft op de drainage van de sloot. In Tabel 8 zijn de resultaten van de slootproef samengevat. De onderbemaling heeft geleid tot een toename van de drainage met 0,20 m².d⁻¹.

Tabel 8 Afvoer en drainage van de oostelijke waterloop.

Periode	Afvoer (l.s ⁻¹)	Bergings- verandering (l.s ⁻¹)	Drainage (l.s ⁻¹)	Lengte slootpand (m)	q (m ² .d ⁻¹)
12/10-14/10	3,0	-	3,0	1000	0,26
18/10	9,0	5,0	4,0	750	0,46
19/10	4,0	-	4,0	750	0,46

Voor het vaststellen van de invloedssfeer van de onderbemaling op het grondwaterregime zijn in de reeds aanwezige en bijgeplaatste buizen dagelijks en tijdens de onderbemaling meer frequent grondwaterstanden opgenomen. Deze gegevens zijn als volgt weergegeven:

- tijdstijghoogtelijnen voor raai B voor filters in de zandondergrond en enkele ondiepe buizen in het veenpakket (Fig. 19a en 19b);
- idem voor raai A (Fig. 20a en 20b);
- tijdstijghoogtelijnen voor de filters in D45 (Fig. 21);
- dwarsprofiel voor raai B, verloop grondwaterstand in het veenpakket en stijghoogte in de zandondergrond, gemiddelde situatie 12 en 13 oktober (Fig. 22);
- stijghoogteverloop in de zandondergrond voor raai B:
 - * gemiddelde situatie, 13 en 14 oktober (Fig. 23a);
 - * idem , 18 oktober (Fig. 23b);
 - * idem , 19 oktober (Fig. 23c);
- verlaging slootpeil en stijghoogte in raai B door onderbemaling (Fig. 24);
- verloop slootpeilen voor raai A en B (Fig. 25);
- daling van de stijghoogte in de zandondergrond in relatie tot de afstand tot de onderbemalen waterloop (Fig. 26);
- verlagingsspatroon in zandondergrond door de onderbemaling (Fig. 27).

Uit Fig. 23 is in combinatie met de drainage in Tabel 8 een waarde voor de slootweerstand te berekenen met de formule:

$$c_s = B\Omega_s + c_b \quad (7)$$

waarin: c_s = slootweerstand (d)
 B = slootbreedte (m)
 Ω_s = radiale slootweerstand (d.m⁻¹)
 c_b = bodemweerstand (d)

verder is:

$$\Omega_s = \Delta h(\text{rad.})/q \quad (8)$$

en:

$$c_b = \Delta h_s(\text{vert.})B/q \quad (9)$$

waarin: $\Delta h(\text{rad.})$ = radiaal potentiaalverschil (m)
 q = flux in een verticaal vlak naar de waterlopen (m².d⁻¹)
 $\Delta h_s(\text{vert.})$ = verschil tussen slootpeil en stijghoogte onder slootbodem (m)

Uit Fig. 23 is allereerst een waarde afgeleid voor [$\Delta h(\text{rad.}) + \Delta h_s(\text{vert.})$] door het stijghoogteverloop vanaf 6a door de stijghoogte in buis W - midden in de weg - vloeiend door te trekken naar 7b. Hierbij is er dus vanuitgegaan dat de invloed van de radiale stroming in deze buizen, op een afstand van meer

dan 7 m van de drainerende waterloop, gering is. Uit de uitgevoerde onderbemaling zal naderhand blijken dat deze opvatting is toegestaan. Door het stijghoogteverloop vanaf 6 te extrapoleren naar het midden onder de sloot, wordt een waarde voor $\Delta h(\text{rad.})$ verkregen, zodat $\Delta h_s(\text{vert.})$ eveneens bekend is. In Tabel 9 zijn de relevante gegevens vermeld alsmede de berekende waarden voor de slootweerstand.

Tabel 9 Berekende slootweerstand.

Periode	$\Delta h(\text{rad.})$ (m)	$\Delta h_s(\text{vert.})$ (m)	q ($\text{m}^2.\text{d}^{-1}$)	B (m)	Ω_s ($\text{d}.\text{m}^{-1}$)	c_b (d)	c_s (d)
12/10-14/10	0,06	0,03	0,26	2,3	0,23	0,27	0,8
18/10	0,20	0,08	0,46	2,0	0,43	0,35	1,2
19/10	0,14	0,09	0,46	2,0	0,30	0,39	1,0

Het gebruik van de waarde voor q uit Tabel 9 bij de uitgevoerde berekeningen is toegestaan bij een homogene, loodrecht op de waterloop aanwezige grondwaterstroming. Uit het verkregen verlagingspatroon tengevolge van de onderbemaling blijkt, dat bij het viaduct aan deze voorwaarde wordt voldaan. Bij het begin van de waterloop is sprake van een horizontale radiale toestroming, tevens volgt uit het verlagingspatroon dat in de eerste 250 m van de waterloop vanaf het begin de drainage-intensiteit hoger is. Volgens de vierkantjesmethode wordt als indicatie verkregen, dat de waarde voor q in de tabellen 15 tot 20% is overschat. Wordt deze correctie verdisconteerd in de berekende weerstanden in Tabel 9, dan leidt dit tot de volgende gemiddelde waarden voor:

$$\begin{aligned}\Omega_s &= 0,4 \text{ d}.\text{m}^{-1} \\ c_b &= 0,4 \text{ d} \\ c_s &= 1,2 \text{ d}\end{aligned}$$

In Fig. 26 is de daling van de stijghoogte in de zandondergrond aan het eind van de onderbemaling voor alle filters weergegeven: de aangegeven waarden zijn gecorrigeerd voor een ongestoorde daling die is afgeleid uit de filters in D45 onder de eerste scheidende laag. Uit Fig. 24 volgt dat dan weliswaar nog geen stationaire situatie is bereikt, maar dat toch een duidelijke indicatie wordt verkregen over de invloed van het peilbeheer van de waterlopen langs de zandweg op de stijghoogte in de zandondergrond. Uit Tabel 8 zou in eerste instantie kunnen worden afgeleid dat de onderbemaling heeft geleid tot een permanente toename van de drainage met $0,2 \text{ m}^2.\text{d}^{-1}$. Aangezien tijdens de onderbemaling het ongestoorde verloop van de stijghoogte een dalende tendens vertoonde, is het aannemelijk dat de natuurlijke drainage enigszins is afgenomen. Om deze reden is voor de toename $0,2-0,3 \text{ m}^2.\text{d}^{-1}$ aangehouden. Met dit gegeven kan op dezelfde wijze als in Tabel 9 een waarde voor Ω_s , c_b en c_s worden berekend. Voor

$\Delta h(\text{rad.})$ volgt uit Fig. 26 0,09 m en voor $\Delta h_s(\text{vert.})$ 0,12 m. Uitvoering van de berekeningen geeft de volgende waarden:

$$\Omega_s = 0,3-0,45 \text{ d.m}^{-1}$$

$$c_b = 0,8-1,2 \text{ d}$$

$$c_s = 1,4-2,1 \text{ d}$$

De waarden voor c_b en c_s zijn wellicht iets aan de hoge kant, omdat in de slootpeilverlaging mogelijk nog een gering effect van een natuurlijke daling aanwezig is die niet is te elimineren. Uit de gradiënt van de verlaginglijn op een afstand van 20 m in Fig. 26 en het extra drainagedebiet is een kD -waarde voor het eerste watervoerend pakket te berekenen met de formule:

$$kD = \frac{1}{2} q \left(\frac{dh}{dx} \right)^{-1} \quad (10)$$

Voor $\frac{dh}{dx}$ volgt uit Fig. 26 een waarde van 0,003, voor kD wordt afgrond een waarde van 30-50 $\text{m}^2.\text{d}^{-1}$ berekend. De maximale waarde komt goed overeen met de kD -waarde van ca. 60 $\text{m}^2.\text{d}^{-1}$, verkregen volgens de taxatiemethode uit boring D45 (Aanhangsel 1).

Voor een kD -waarde van 30-50 $\text{m}^2.\text{d}^{-1}$ en de gradiënt uit Fig. 26 op 90 m afstand van de waterloop ($\frac{dh}{dx} = 0,0015$) is ter plaatse een stroming berekend van 0,05-0,08 $\text{m}^2.\text{d}^{-1}$. Over de 90 m is het eerste watervoerend pakket dus gevoed met 0,05-0,07 $\text{m}^2.\text{d}^{-1}$, wat neerkomt op 0,6-0,9 mm. d^{-1} . De veenwaterstand is als gevolg van de onderbemaling niet merkbaar veranderd; indien wordt verondersteld dat de voeding grotendeels afkomstig is uit het tweede watervoerend pakket, dan zal dit gezien de kD -waarde van 1000 $\text{m}^2.\text{d}^{-1}$ eveneens nauwelijks leiden tot stijghoogteveranderingen in dat pakket. De gemiddelde verlaging in het eerste watervoerend pakket aan het eind van de onderbemaling over de beschouwde breedte is 0,20 m. De totale weerstand van het veenpakket en de eerste scheidende laag is te berekenen met de formule:

$$c_{1,3} = \frac{\bar{\Delta h}(\text{vert.})}{v_z} \quad (11)$$

waarin:

$c_{1,3}$ = verticale weerstand van het veenpakket en de eerste scheidende laag (d)

$\bar{\Delta h}(\text{vert.})$ = gemiddelde verlaging van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket (m)

v_z = voeding vanuit het tweede watervoerend pakket (m. d^{-1})

Substitutie van de waarden in (11) geeft na uitwerking een waarde van 250 tot 330 d voor de hydraulische weerstand. Indien de ver-

ticale weerstand van het veenpakket, op grond van de verkregen resultaten van de infiltratieproef, wordt gesteld op 3000 d dan is de hydraulische weerstand van de eerste scheidende laag te berekenen met de formule:

$$\frac{1}{c_{1,3}} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_3} \quad (12)$$

waarin:

c_1 = verticale weerstand van het veenpakket (d)

c_3 = verticale weerstand van de eerste scheidende laag (d)

Voor c_3 wordt een waarde van 270 tot 370 d berekend. Aangezien in Fig. 26 nog geen stationaire toestand is bereikt, zal de waarde voor $\Delta h(\text{vert.})$ enigszins zijn onderschat. Dit betekent dat het in het voorgaande aangegeven interval voor de c -waarde wellicht hoger ligt. In D45 bedraagt het verschil in stijghoogte tussen de filters boven en onder de eerste scheidende laag globaal 0,40 m. Aangezien de oppervlakteafvoer van het westelijk gelegen gebied van weinig betekenis is, zal het neerslagoverschot grotendeels door de ondergrond worden afgevoerd naar de drainerende waterlopen in het oostelijk gebied. Gezien de kD -waarde van $40 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ voor het eerste watervoerend pakket zal de ondergrondse afvoer onmogelijk door dit pakket kunnen plaats vinden. Dit houdt in, dat het grootste deel van het neerslagoverschot infiltreert naar het tweede watervoerend pakket; bij een waarde van $0,5\text{--}0,8 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ hiervoor leidt dit tot een verticale weerstand voor de eerste scheidende laag van 500–800 d. Uit het voorgaande lijkt een verticale weerstand van 500 d voor de eerste scheidende laag het meest aannemelijk. Uit Fig. 26 volgt bij een drainagedebiet van $0,2\text{--}0,3 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ een opbolling van 0,30 m. Daar het niveau van de verlagingslijn evenredig is met het drainagedebiet, is een reconstructie mogelijk van het stijghoogteverloop in Fig. 23a, indien de drainage op nul wordt gesteld. Hiermee wordt een evenwichtsituatie bedoeld, waarbij het peil in de waterloop gelijk is aan de stijghoogte in de zandondergrond daar. Volgens de tot dusver gehanteerde marge zou het niveau met een factor 0,9–1,3 vermenigvuldigd moeten worden, waarna vervolgens de verkregen verlagingslijn gesuperponeerd wordt op het stijghoogteverloop in Fig. 23a. De factor 1,3 leidt tot de meest aannemelijke situatie. Dit betekent niet dat de corresponderende waarden met de factor 1,3 in het voorgaande hiermee worden onderbouwd. Zoals reeds eerder opgemerkt, is in Fig. 26 nog geen evenwichtsituatie bereikt, wat inhoudt dat de factor kleiner dan 1,3 kan zijn. Bij een peil in de waterloop van $15,05 \text{ m} + \text{NAP}$ is de drainage nul, dit houdt dus een peilverhoging in van 0,45 m. Bij de onderbemaling is een peilverlaging van ongeveer 0,55 m verkregen, het debiet zou dan met een factor 1,2 moeten toenemen, wat door de debietmetingen bij benadering wordt bevestigd. In Fig. 27 is het verlagingspatroon weergegeven bij een peilverlaging van 0,55 m aan het eind van de onderbemaling. Het beeld is te transformeren

in een identiek patroon, waarin het effect van een peilverhoging met 0,55 m is aangegeven. Hieraan dient te worden toegevoegd dat de peilverhogingen wellicht groter zullen zijn doordat bij de onderbemaling geen evenwichtsituatie is bereikt. Uit de naderhand uit te voeren modelberekeningen zal blijken of deze eenvoudige benadering correct is. Uit Fig. 28, waarin de tijdstijghoogtelijnen van de oorspronkelijke buizen in raai B zijn weergegeven, kan op grond van een vergelijking met het stijghoogteverloop in Fig. 23a worden gesteld, dat in de maanden januari t/m april nog een extra peilverhoging mogelijk is met 0,20 m. De bovenvermelde mogelijke peilverhogingen zijn gebaseerd op een beperkte reeks van grondwaterstanden in relatief natte jaren. De vraag kan dan ook worden gesteld welke peilverhogingen mogelijk zijn in droge jaren. Als gevolg van de bufferwerking van het veenpakket is de variatie in de infiltratie naar de zandondergrond veel geringer dan die van het neerslagoverschot (Tabel 10). Op grond van dit gegeven en de peilbeheersing in het oostelijk gelegen landbouwgebied mag worden verwacht, dat in het algemeen de genoemde peilverhogingen kunnen worden gerealiseerd.

4 HYDROLOGISCHE FUNCTIE VAN DE WATERLOOP AAN DE ZUIDWESTZIJDE VAN HET OOSTERBOS

Aangezien in hoofdstuk 3 voldoende informatie is verkregen over de voedingsweerstand van de waterlopen in het zandpakket, is een infiltratieproef in de waterloop aan de oostzijde van het Oosterbos achterwege gelaten. In de plaats daarvan is een infiltratieproef uitgevoerd in een gedeelte van de waterloop tussen het Oosterbos en het perceel dat in een punt uitloopt, waarin de veenweg is gesitueerd. Deze waterloop heeft alleen in de winter enige afvoer van het merendeels westelijk gelegen landbouwgebied. Vanwege het sterke bodemverval zijn in de waterloop drie stuwen aanwezig om de stroomsnelheid te beperken. Tot de voorgestelde maatregelen ter bescherming van de veenweg behoort het dichten van deze waterloop. Om de huidige functie van de waterloop vast te stellen is het pand tussen de twee stuwen, globaal ter hoogte van de buizen B24 en B25, met water gevuld vanuit de waterloop langs de beheersweg door het Oosterbos (Fig. 17).

4.1 Uitgevoerde metingen

Halverwege het leidingvak zijn in een raai C loodrecht hierop filters geplaatst zowel in de zandondergrond als in het bovenliggende veenpakket. Voor het veenpakket zijn ongeveer dezelfde filterdiepten aangehouden als bij de infiltratieproeven, namelijk: 0,25-0,50, 0,75-1,00 en 1,25-1,50 m - mv. (Fig. 29). Voor de aanvang van de infiltratieproef stond het leidingvak praktisch droog.

Bij de infiltratie is halverwege het leidingvak een maximaal peil bereikt van ongeveer 50 cm boven slootbodem. De lengte van het leidingvak was 85 m. De uitgevoerde metingen betreffen:

- opname van grondwaterstanden;
- het infiltratiedebiet.

Het infiltratiedebiet in een tijdstap is bepaald uit de daling van de waterspiegel en de gemiddelde breedte hiervan in de beschouwde periode. Daartoe is bij verschillende waterstanden voor het gehele leidingvak de breedte van de waterspiegel opgemeten en zijn de gegevens in een grafiek samengevat.

4.2 Interpretatie van de meetgegevens

Op 24 oktober is het leidingvak met water gevuld; de stuw benedenstrooms lekte echter dermate dat deze allereerst diende te worden afgedicht. Hiervoor is over de volle stuwbreedte en tot circa 50 cm onder de slootbodem plastic folie aangebracht. De volgende drie dagen is het leidingvak dagelijks op peil gebracht. Uit Fig. 30 volgt dat de infiltratie voor raai C heeft geleid tot

een verhoging van de stijghoogte in de zandondergrond. De aangegeven waarden hebben steeds betrekking op de dagelijkse opname alvorens de sloot weer werd volgepompt. Uit Fig. 31a ontstaat de indruk dat de stijgende tendens zich op de derde dag nog voortzet; wordt hierbij echter Fig. 30 betrokken, dan blijkt het op peil brengen van de sloot praktisch geen invloed meer uit te oefenen op het stijghoogteverloop. Dit houdt in dat de voeding vanuit de sloot naar de zandondergrond, bij benadering stationair is. De verhoging van het slootpeil heeft geen merkbare invloed op de wegzijging naar de zandondergrond omdat de slootpeilverhoging relatief klein is ten opzichte van het verschil tussen slootpeil en de stijghoogte in de zandondergrond. Uit het verloop van de daling van het slootpeil op 27 oktober en de daarbij behorende breedte van de waterspiegel is bij een slootpeil van 17,25 m + NAP een wegzijging gemeten van 0,12 m².d⁻¹.

De voedingsweerstand van het leidingvak kan worden berekend met:

$$c_s = \frac{\Delta h_s(\text{vert.})}{q(B+1,5D)} \quad (13)$$

waarin:

c_s	= voedingsweerstand	(d)
$\Delta h_s(\text{vert.})$	= verschil tussen slootpeil en stijghoogte in de zandondergrond	(m)
q	= wegzijgingsdebiet	(m ² .d ⁻¹)
B	= slootbreedte	(m)
D	= veendikte tussen slootbodem en zandondergrond	(m)

De gemiddelde stijghoogte in de zandondergrond onder de slootbodem is op 27 oktober 15,43 m + NAP zodat $\Delta h_s(\text{vert.})$ 1,82 m wordt, verder zijn B en D resp. 1,5 en 1,2 m. Substitutie van de waarden in (13) geeft na uitwerking voor c_s een voedingsweerstand van 50 d.

De verkregen waarde voor de weerstand van het veenpakket onder de slootbodem is een fractie van de waarde voor de laag op dezelfde diepte van de infiltratieproef B25. De gestelde buizen in het veen aan de noordzijde van de waterloop stonden droog in tegenstelling tot de gestelde buizen in het veen aan de zuidzijde van de waterloop die praktisch allemaal een grondwaterstand aangaven. Dit duidt op een abrupte overgang van hydrologische eigenschappen van het veenpakket in de omgeving van de waterloop. Aan de zuidzijde van de waterloop is de verticale weerstand relatief hoog, enkele duizenden dagen, terwijl aan de noordzijde de waarde hiervoor relatief laag is. Het effect van de wegzijging wordt nog eens geïllustreerd in Fig. 32 en 33. In de eerste figuur is het stijghoogteverloop weergegeven op 25 oktober - voor aanvang van de infiltratieproef - en op 27 oktober. In de tweede figuur is de relatieve stijging weergegeven met een bijdrage van het ongestoorde stijghoogteverloop. De informatie hierover is

ontleend aan de fluctuatie in de filters onder de eerste scheidende laag in boring D45. Uit Fig. 33 volgt dat een peilverhoging van 0,40-0,50 m in het leidingvak heeft geleid tot een verhoging van de stijghoogte in de zandondergrond op een afstand van 30 m met 3-4 cm.

Uit Fig. 32 valt een toename van de gradiënt te constateren aan de noordzijde van de waterloop en wel vooral voor het verloop op 27 oktober. Voor 25 oktober is deze tendens gering. Een verklaring hiervoor is dat voor de aanvang van de infiltratie ter plaatse extra voeding optreedt. Deze voeding kan worden toegeschreven aan afstromend water uit het perceel aan de zuidzijde door de bovengrond, vergelijkbaar met uittredend water uit het veenpakket langs de beheersweg in het Oosterbos. Uit Fig. 31d en c volgt dat de filters in het veenpakket op een diepte van 25-50 cm - mv. nog gering zijn beïnvloed door de infiltratieproef.

5 INVENTARISATIE VAN DE WATERLOPEN

Gegevens over het waterlopenpatroon zijn naderhand nodig om modelberekeningen uit te voeren naar de effecten van beheersmaatregelen op de stijghoogte in de zandondergrond bij de veenweg. De gegevens betreffen vooral slootdichtheid, afmetingen van de waterlopen en het wel of niet permanent watervoerend karakter (zie Fig. 34). De waterlopen in het westelijk landbouwgebied hebben voor het grootste deel een transportfunctie. Daar de bodem van de waterlopen veelal hoger ligt dan de stijghoogte in de zandondergrond, zullen deze waterlopen alleen in zeer natte perioden afvoer hebben, die afkomstig is van runoff en afvoer door de bovengrond. In het oostelijke landbouwgebied zijn de belangrijkste waterlopen aangegeven die het gehele jaar door permanent watervoerend zijn. Op de grens van het Oosterbos met het oostelijk landbouwgebied komt een waterloop voor die in het grootste deel van het jaar plaatselijk water bevat. Omdat deze waterloop voorkomt op de nieuwe waterlopenkaart in het kader van de herinrichting, is deze aangegeven. Verder kunnen de waterlopen in het Oosterbos nog worden genoemd. Bij de latere berekeningen zal worden aangegeven hoe de drainerende functie van de waterlopen is gemodelleerd.

6 BODEMFYSISCH E PARAMETERS EN MODEL CALIBRATIE

6.1 Bodemfysische eigenschappen van het veenpakket

Om modelmatig de waterbehoefte voor berekening of bevoeling te berekenen om zo de veenwaterstand permanent boven de veenweg te kunnen handhaven, zijn voor de lagen van het veenpakket gegevens nodig over:

- $k(h)$ -relaties, of het verband tussen het capillair geleidingsvermogen en de zuigspanning;
- $\theta(h)$ -relaties, of het verband tussen het vochtgehalte en de zuigspanning, ook wel aangeduid als pF-kromme.

Bovengenoemde relaties zijn vastgesteld voor de lokaties van de infiltratieproeven B25 en B26. Voor beide lokaties is een totale laagdikte beschouwd van 3,30 m. Voor B26 heeft het veenpakket weliswaar een geringere dikte, maar dit heeft de naderhand uitgevoerde modelberekeningen niet beïnvloed. De geometrische indeling van het profiel bij B25 en B26 is als volgt:

Lokatie B25		Lokatie B26	
laag (cm - mv.)	bodemfysische eenheid	laag (cm - mv.)	bodemfysische eenheid
0-20	B16 (-,-)	0-30	B16 (c,-)
20-60	B16 (a,a)	30-70	B16 (a,a)
60-120	B16 (b,b)	70-120	B16 (d,b)
120-330	B16 (b,-)	120-330	B16 (b,-)

Als uitgangspunt voor de bodemfysische eenheden is bouwsteen B16 uit de Staringreeks gebruikt (Wösten, e.a., 1987). Voor de eerste laag van lokatie B25 is zowel de $k(h)$ - als $\theta(h)$ -relatie van deze bouwsteen bruikbaar gebleken. Voor de overige lagen is de $k(h)$ - en/of $\theta(h)$ -relatie bij met name lage zuigspanningen gering aangepast. Dit is aangegeven met de letters achter B16, tussen haakjes, de eerste letter heeft betrekking op de doorlatendheidskarakteristiek (Fig. 36) en de tweede op de waterretentiekarakteristiek (Fig. 35).

6.2 Modelcalibratie van de onverzadigde zone

De aanpassingen van par. 6.1 zijn gebaseerd op de verkregen doorlatendheden uit de infiltratieproeven en uitgevoerde simulaties met het model SWACROP (Wesseling, e.a., 1988). In Fig. 35 en 36 zijn de uiteindelijk gebruikte relaties weergegeven. De relaties zijn verkregen in een interactieproces, waarbij met name de

$q(h)$ -relatie uit Fig. 15, het gemeten stijghoogteverloop van de veenwaterstand uit Fig. 3b en 3c, en algemene informatie over de waterhuishoudkundige situatie van invloed zijn geweest. In Fig. 37 is de fluctuatie van de gemeten veenwaterstand voor de jaren 1982 t/m 1985 weergegeven voor lokatie B25. Voor deze jaren zijn eerst berekeningen met SWACROP uitgevoerd. Naast de reeds genoemde geometrie en bodemfysische eigenschappen in par. 6.1 zijn hierbij de volgende invoergegevens van toepassing:

- meteogegevens (op dagbasis);
 - * neerslag (station Klazienaveen);
 - * netto straling (station Eelde);
 - * gemiddelde dagtemperatuur (station Eelde);
 - * relatieve vochtigheid (station Eelde);
- bewortelingsdiepte: 25 cm
(gewas aardappelen, groeiseizoen 10 mei tot 20 september, bodembedekking 80%);
- onderrandvoorwaarde;
 - * bij de eerste berekening is de $q(h)$ -relatie uit Fig. 15 gebruikt; hierbij bleek dat bij ondiepe grondwaterstanden afvoer plaats vindt door de bovengrond en in zeer natte perioden zelfs runoff. De afstroming door de bovengrond is gemodelleerd door een aanpassing van de $q(h)$ -relatie (Fig. 38) en kan worden weergegeven door 2 rechten volgens onderstaande vergelijking:

$$q = ah^* + b \quad (14)$$

waarin: q = flux (cm.d⁻¹)
 h^* = grondwaterstand (cm - mv.)
 a, b = constanten

De gebruikte constanten zijn:

Laag (cm - mv.)	a	b
0-30	$3,00 \times 10^{-3}$	-0,17
> 30	$1,39 \times 10^{-4}$	-0,084

In 1983 kwam de berekende grondwaterstand in het voorjaar boven maaiveld; hierbij is verondersteld dat maximaal 5 mm boven maaiveld kan worden geborgen en dat het meerdere oppervlakkig afstroomt. Het laatstgenoemde is boekhoudkundig verwerkt in de waterbalans:

- beginvoorwaarde;
 - * de berekeningen worden per jaar uitgevoerd; gestart is met een grondwaterstand van 70 cm - mv. op 1 januari 1983. De berekende grondwaterstand op 31 december van 1983 en 1984 is als beginwaarde gebruikt voor de jaren 1984 en 1985. Hierbij is verondersteld dat het vochtprofiel boven de grondwaterstand in een statisch evenwicht verkeert.

In het voorgaande is uitgebreid ingegaan op de aanpassing van de $q(h)$ -relatie uit Fig. 15. Duidelijk is dat de aanpassing van de relaties in Fig. 35 en 36 hierbij tegelijkertijd is betrokken. Het calibratieproces heeft geresulteerd in een berekend grondwaterstandsverloop dat in grote lijnen overeenkomt met het gemeten verloop. Opvallend is dat de berekende grondwaterstanden in de winterperiode hoger uitkomen dan de gemeten waarden; bij de uitgevoerde infiltratieproeven is hier reeds op gewezen.

Voor lokatie B26 had een calibratieproces weinig zin, omdat de filters in Fig. 3d alleen in de winter kortstondig een grondwaterstand aangaven. Voor deze lokatie is voortgebouwd op de verkregen inzichten voor lokatie B25. Duidelijke, kenmerkende verschillen zijn dat bij lokatie B26 geen runoff plaatsvindt en de afstroming door de bovengrond is te verwaarlozen. Het was niet nodig om de $q(h)$ -relatie in Fig. 12 aan te passen; deze is vergelijkbaar met die van lokatie B25 volgens (14) weergegeven door 2 rechten met de volgende constanten:

Laag (cm - mv.)		a	b
0-70		$4,68 \times 10^{-3}$	-0,58
> 70		$2,17 \times 10^{-3}$	-0,41

7 GEOHYDROLOGISCHE SCHEMATISERING EN BODEMCONSTANTEN

Uit de infiltratieproeven is gebleken dat de stijghoogte in de zandondergrond bij B25 ongeveer op het niveau van de veenbasis ligt en bij B26 ruim een meter daar beneden. Een aantal beheersmaatregelen zou kunnen leiden tot een verhoging van de stijghoogte in de zandondergrond, waardoor een conservering van de veenbasis beter wordt gewaarborgd. Om de effecten van de voorgenomen maatregelen modelmatig te berekenen zijn gegevens nodig over:

- geologische opbouw;
- geohydrologische schematisering (indeling hydrologisch pakket in watervoerende pakketten en scheidende lagen);
- geohydrologische bodemconstanten;
 - * kD-waarden voor watervoerende pakketten;
 - * c-waarden voor scheidende lagen.

7.1 Geologische opbouw

Volgens het Rapport van de Technische Werkgroep Grondwaterplan (1985), in het volgende aangeduid als Grondwaterplan (1985) en een inventarisatierapport van de Rijks Geologische Dienst (RGD, 1975) kunnen in het onderzoeksgebied de Tertiaire kleien op een diepte van ca. 100 m - mv. als hydrologische basis worden beschouwd. Boven deze kleilagen bestaan de Tertiaire afzettingen tot een diepte van ca. 60 m - mv. uit grijze fijne zanden. Hierop is een pakket grove zanden afgezet met een dikte van ca. 15 m en daarop vervolgens een pakket fijne zanden ter dikte van 40 m. Deze twee eenheden zijn van Midden-Pleistocene ouderdom (Cromerien t/m Elsterien). Binnen het onderzoeksgebied wordt binnen dit pakket op ca. 35 m - mv. een kleipakket aangetroffen variërend in dikte van 1 tot 5 m.

Tijdens het Saalien is onder invloed van landijs het gebied opgesplitst in twee geologische eenheden nl. de Hondsrug en het Hunzedal. Op de Hondsrug is vervolgens op de serie fijne zanden een in dikte wisselende laag keileem afgezet. Deze keileemlaag is echter sterk door erosie aangetast en plaatselijk verdwenen. Het Hunzedal is een smeltwaterdal; het smeltwater van het landijs heeft een diep dal uitgeschuurd. De diepte van dit dal bedroeg 20-25 m. Het dal is vervolgens opgevuld met meestal grove zanden met grind en stenen (RGD, 1975). In boring D45 worden tussen 27,30 en 29,75 m - mv. veel stenen aangetroffen. Gedurende het Eemien (warme tijd) zijn fijne zanden en kleien afgezet en plaatselijk hebben zich veenlagen gevormd. In boring D45 zijn tussen 19,00 en 20,00 en tussen 20,60 en 22,50 m - mv. deze veenlagen aangetroffen. In de laatste ijstijd (Weichselien) is het dal verder opgevuld met fijne fluviatiele beekzanden. In dezelfde tijd werd op de Hondsrug meestal een dunne laag dekzand op de

keileem afgezet. Gedurende het Holoceen is vervolgens een vrij dikke laag hoogveen gevormd in het laaggelegen Hunzedal. Oostelijk van Nieuw-Dordrecht heeft het hoogveen de lagere delen van de Hondsrug overgroeid. Als gevolg van afgravingen is slechts een dunne laag restveen achtergebleven. In Fig. 39 is een Oost-West profiel over het onderzoeksgebied weergegeven. De ligging van dit profiel is in Fig. 1 aangegeven.

De weerstandbiedende laag die het tweede watervoerend pakket scheidt van het eerste watervoerend pakket, komt in het hele onderzoeksgebied voor (RGD-rapport, 1975 en Grondwaterplan, 1985). De dikte varieert sterk; nabij Nieuw-Dordrecht is de dikte 5 m en in boring D45 slechts 1 m. De klei of veenlagen afgezet tijdens het Eemien komen volgens het Grondwaterplan (1985) alleen voor in de noordoosthoek van het onderzoeksgebied. Aangezien in boring D45 veenlagen zijn aangetroffen en deze boring aan de rand van het Hunzedal is gesitueerd, is in Fig. 40 de begrenzing van de Eemveen of klei gelijk genomen met de geologische grens tussen de Hondsrug en het Hunzedal. De weerstandbiedende laag die het eerste watervoerend pakket afdekt, bestaat in het landbouwgebied westelijk van het onderzoeksgebied uit keileem en in een overgangsgebied naar het oosten uit resterend, gedeeltelijk afgegraven hoogveen (Fig. 41).

7.2 Geohydrologische schematisering

Als geohydrologische basis kunnen de Tertiaire kleien worden beschouwd op ca. 100 m - mv. Daarboven bevindt zich een 65 m dik zandpakket. Dit pakket wordt aan de bovenzijde begrensd door een kleilaag (Cromerienklei) die in het gehele onderzoeksgebied voorkomt. De dikte van deze kleilaag varieert van 1 tot 5 m. Boven deze kleilaag treffen we wederom een zandpakket aan. Dit zandpakket is in het oostelijk deel opgesplitst in twee pakketten door de aanwezigheid van de zgn. Eemklei en/of veen.

In boring D45 hebben deze veenlagen een dikte van 2,9 m. Het zandpakket wordt aan de bovenzijde afgedekt door een weerstandbiedende laag die in het westelijke deel van het onderzoeksgebied bestaat uit keileem en in oostelijke deel uit hoogveen. Plaatselijk ontbreekt de keileem en/of is het hoogveen afgegraven. Boven de keileem kan een dun freatisch pakket voorkomen.

Uit de stijghoogtegegevens bij boring 18 C-15 blijkt, dat de Cromerienklei een duidelijk scheidende werking heeft. In 1987 varieerde het stijghoogteverschil van 2,23-2,39 m tussen de filters in het eerste watervoerend pakket (10,20-7,20 m + NAP) en het tweede watervoerend pakket (32,80-35,80 m - NAP). Bij boring D45 hebben de veenlagen een duidelijk scheidende werking, tijdens de onderzoeksperiode bleek een stijghoogteverschil aanwezig van ca. 0,40 m tussen het filter boven de veenlaag en de overige

diepe filters.

De ondergrond is daarom geschematiseerd tot twee watervoerende pakketten gescheiden door een slecht doorlatende laag en afgedekt door het zgn. afdekkend pakket (Fig. 39). Hierbij zijn de Eemklei/veen en de Cromerienklei samengenomen tot een scheidende laag.

7.3 Geohydrologische bodemconstanten

In het Grondwaterplan (1985) worden waarden gegeven voor een aantal geohydrologische bodemconstanten, daarnaast is tijdens dit onderzoek aanvullende informatie hierover verkregen. Voor het doorlaatvermogen van het tweede watervoerend pakket zijn kD-waarden bekend van 2 pompproeven in de omgeving van Nieuw-Dordrecht nl:

Klazienaveen $kD = 1450 \text{ m}^2.\text{d}^{-1}$

Emmererfscheidenveen $kD = 950 \text{ m}^2.\text{d}^{-1}$

Op basis van deze pompproeven is voor Nieuw-Dordrecht een kD-waarde af te leiden van ca. $1000 \text{ m}^2.\text{d}^{-1}$. Door taxatie van parameters in de boormonsters is deze waarde getoetst. Bij de taxatie wordt een gegeven relatie tussen de doorlaatfactor k en de desbetreffende parameters (U-cijfer, slibgehalte, sortering en grindgehalte) gebruikt, alsmede de beschouwde laagdikte D. Voor boring D45 is voor het pakket tussen 32 en 70 m - mv. een kD-waarde van $506 \text{ m}^2.\text{d}^{-1}$ gevonden (Aanhangsel 1). Op ca. 70 m - mv. is de k-waarde $9 \text{ m}.\text{d}^{-1}$. Indien voor het traject 70-100 m - mv. eveneens deze k-waarde geldt, dan bedraagt de totale kD-waarde voor het tweede watervoerend pakket rond $800 \text{ m}^2.\text{d}^{-1}$. Uit boring 18 C-15 blijkt dat er een dikker pakket grof zand aanwezig is dan bij D45, zodat hier een hogere kD-waarde mag worden verwacht. Op basis van bovenstaande overwegingen is voor het gehele modelgebied een kD-waarde aangehouden van $1000 \text{ m}^2.\text{d}^{-1}$.

Voor de weerstand van de Cromerienklei wordt in het Grondwaterplan (1985) een waarde gegeven van 290 d per meter laagdikte. Op deze wijze is voor de directe omgeving van de veenweg in het Grondwaterplan (1985) een weerstand afgeleid van 290 d. Deze neemt in noordelijke en zuidelijke richting af. Voor de directe omgeving van Nieuw-Dordrecht, waar de klei een dikte heeft van 5 m, wordt een waarde gegeven van 1450 d. Voor de weerstand van de klei- en veenlagen uit het Eemien geeft het Grondwaterplan (1985) 40 dagen per meter laagdikte. Voor boring D45 zou dit een weerstand betekenen van 410 d. Hierbij dient te worden opgemerkt dat het stijghoogteverschil voor de veenlagen (Eemien) uit boring D45 wijst op een veel hogere waarde voor de verticale weerstand per meter laagdikte, en voor de Cromerienklei uit de stijghoogteverschillen een lagere waarde per meter laagdikte valt af te leiden. Uit het veldonderzoek is een indicatieve waarde verkregen van 500 d. Bij de modelberekeningen is op grond

van het totaalbeeld uitgegaan van een hydraulische weerstand van 500 d voor het hele gebied. Voor het eerste watervoerend pakket geeft het Grondwaterplan (1985) een doorlaatvermogen van 100-200 $\text{m}^2.\text{d}^{-1}$.

Uit veldonderzoek wordt een waarde verkregen van 40 $\text{m}^2.\text{d}^{-1}$, deze waarde is eveneens door taxatie getoetst, waarbij een kD-waarde is berekend van 57 $\text{m}^2.\text{d}^{-1}$ (Aanhangsel 1). De gevonden waarden komen goed met elkaar overeen; bij de modelberekeningen is voor het hele onderzoeksgebied een kD-waarde voor het eerste watervoerend pakket aangehouden van 40 $\text{m}^2.\text{d}^{-1}$. Voor het afdekkend pakket zijn globaal twee gebieden te onderscheiden nl. één met keileem en één met hoogveen. Hoewel keileem op zich zeer slecht doorlatend is, kan door het voorkomen van zandbanen in de keileem, door zandige ontwikkeling en door sterk wisselende dikten niet altijd gesproken worden van een weerstandbiedende laag van grote betekenis. Dit geldt ook voor de omgeving van Nieuw-Dordrecht, daar in het gebied geen of nauwelijks sloten worden aangetroffen en in natte perioden zich geen aanzienlijke inundaties voordoen. Daarom is voor het keileemgebied een weerstand van het afdekkend pakket aangehouden van 10 d. Het hoogveengebied is te verdelen in een gebied waar het hoogveen nog resteert (Fig. 41) en een gebied waar het geheel, of gedeeltelijk is afgegraven. Voor het gebied waar het veen is afgegraven, is eveneens een weerstand aangehouden van 10 d. Voor het resterend hoogveen is de weerstand gesteld op 3000 d overeenkomstig de bevindingen tijdens de infiltratieproef bij B25.

8 MODELBEREKENINGEN

8.1 Wateraanvoerbehoefte voor beregening

In hoofdstuk 6 zijn met SWACROP simulaties uitgevoerd voor een modelcalibratie van de onverzadigde zone. Het is nu mogelijk om de beregeningsgift vast te stellen om daardoor de veenwaterstand permanent boven het niveau van de veenweg te houden.

Hierbij zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- aanvang beregening: bij B26 wanneer een diepte van de grondwaterstand van 60 cm - mv. wordt overschreden; bij B25 is hiervoor 40 cm - mv. aangehouden;
- één gift per week;
- grootte van de gift afhankelijk van de diepte van het grondwater en de weersgesteldheid in de voorgaande week.

In de Fig. 42 en 43 is voor twee perioden het verloop van de berekende veenwaterstand met en zonder beregening voor lokatie B25 weergegeven. Het berekend verloop van de grondwaterstand zonder beregening in Fig. 42 is eerder getoetst aan gemeten grondwaterstanden (Fig. 37). Om een indruk van de wateraanvoerbehoefte in een aantal specifieke jaren te verkrijgen is de periode 1975 t/m 1977 gekozen. Hierin komt voor een 10% droog jaar als 1975, een extreem droog jaar als 1976 en een jaar zonder bijzondere weerkenmerken als 1977. Daarnaast zijn berekeningen gemaakt voor de jaren 1983 t/m 1985. In de Fig. 42 en 43 is tevens het tijdstip van beregening aangegeven en het niveau van de veenweg. Uit de figuren volgt dat in 1985 één beregeningsgift voldoende was en dat het aantal beregeningsgiften in 1976 het grootst was. In Fig. 44 is de cumulatieve beregeningsgift voor alle doorgerekende jaren weergegeven.

In 1985 is de totale beregeningsgift 20 mm en in 1976 265 mm. In Tabel 10 zijn nog eens de afzonderlijke balanstermen aangegeven zonder beregening, alsmede de veranderingen in die termen indien wordt berekend, met uitzondering van de neerslag. Uit Tabel 10 blijkt dat in de jaren 1975 en 1983 resp. 53 en 67 mm afvoer door runoff en door de bovengrond plaats vindt. In Fig. 45 is de cumulatieve beregeningsgift voor lokatie B26 weergegeven. Uit de figuur blijkt dat praktisch het gehele jaar moet worden berekend om de veenwaterstand boven de veenweg te houden. De beregeningsgift varieert afhankelijk van het jaar van ruim 650 mm tot bijna 1000 mm. De intensieve beregening is tevens van invloed op de stijghoogte in de zandondergrond van de veenweg, bij benadering zal een verhoging van 5-10 cm plaatsvinden.

Voor de bepaling van de beregeningsgift is uitgegaan van het gewas aardappelen (hoofdstuk 6). Het bodemgebruik is mede bepalend voor de grootte van de verdamping en beïnvloedt diens gevolge tevens de benodigde beregeningsgift. De gronden nabij de veenweg ten oosten van B24 liggen reeds braak; op korte ter-

Tabel 10 Balanstermen zonder berekening en de verandering in de balanstermen met berekening.

Jaar	N	R	Ea	I	A	B	Ber	ΔEa	ΔI	ΔA	ΔR	ΔB
	(mm.j ⁻¹)						(mm.j ⁻¹)					
1975	599	8	385	301	45	-140	180	12	24			144
1976	531		296	241		-6	265	109	89	16		51
1977	719		340	229		149	90	32	97	58	16	-113
1983	732	29	359	298	38	-8	155	18	19			118
1984	740		380	300		60	90	-50	31	79	71	-41
1985	737		427	298		12	20	-27	26	47	12	-38

N = neerslag

R = runoff

Ea = actuele verdamping (incl. interceptie)

I = infiltratie naar de ondergrond

A = horizontale afvoer

B = bergingsverandering in het profiel

Ber = berekening

ΔEa = toename actuele verdamping (incl. interceptie)

ΔI = toename infiltratie naar de ondergrond

ΔA = toename horizontale afvoer

ΔR = toename runoff

ΔB = bergingsverandering in het bodemprofiel bij berekening

mijn zullen de meer westelijk gelegen percelen volgen. Door de betreffende gronden vrij te houden van vegetatie zal met name in de zomer de verdamping afnemen, waardoor in die periode minder water nodig is om de gewenste grondwaterstand te handhaven. Voor een globale indruk hieromtrent is allereerst, uitgaande van de E_0 op maandbasis van het station Eelde, E_{pot} berekend voor de periode 1951 tot 1980 (Tabel 11).

Uit Tabel 11 blijkt dat voor de beschouwde periode in de maanden juni t/m augustus de potentiële verdamping voor kale grond gemiddeld 76 mm lager is dan voor grond bebouwd met aardappelen. Uit de berekeningen met SWACROP voor 1977 volgt als verhoudingsfactor voor de actuele evapotranspiratie/potentiële evapotranspiratie en de actuele evaporatie/potentiële evaporatie resp. een waarde van 0,69 en 0,62. Bij het gebruik van deze verhoudingsgetallen en de gemiddeld aangegeven waarden voor E_{pot} op jaarbasis in Tabel 11, wordt berekend dat in de werkelijke situatie de verdamping voor kale grond 81 mm lager is dan voor grond bebouwd met aardappelen. Dit resultaat wijkt weinig af van het eerder genoemd verschil in verdamping (76 mm). Door de gronden vrij te houden van vegetatie kan de verdamping in de maanden juni t/m augustus gemiddeld met ca. 80 mm worden gereduceerd.

Tabel 11 Berekende potentiële verdamping voor aardappelen en kale grond (1951-1980).

	E_o mm.maand ⁻¹	Gewasfactor		E_{pot} mm.maand ⁻¹	
		aard.	kale grond	aard.	kale grond
jan.	3	1,0	1,0	3	3
feb.	12	1,0	1,0	12	12
mrt.	39	1,0	1,0	39	39
apr.	67	0,6	0,6	40	40
mei	103	0,6	0,6	62	62
juni	119	0,83	0,6	99	71
juli	109	0,9	0,6	98	65
aug.	88	0,77	0,6	68	53
sep.	57	0,6	0,6	34	34
okt.	25	1,0	1,0	25	25
nov.	7	1,0	1,0	7	7
dec.	2	1,0	1,0	2	2
Totaal	631 mm			489 mm	413 mm

E_o = openwaterverdamping

E_{pot} = potentiële verdamping

Volgens Tabel 10 zal dit tot gevolg hebben dat in een meer dan 50% droog jaar de veenwaterstand van lokatie B25 en ten oosten daarvan op de gewenste diepte kan worden gehandhaafd.

De totale lengte van de veenweg bedraagt 800 m, hiervan ligt 575 m ten noordwesten van de Herenstreek (Fig. 2, Caspari, 1982). Voor het laatste gedeelte is op twee lokaties vastgesteld dat de veenwaterstand permanent boven het niveau van de veenweg kan worden gehandhaafd door berekening.

Uitgaande van een profieldoorsnede langs de veenweg in Fig. 54 is op grond van de diepteligging van de veenbasis het beschouwde traject opgesplitst in twee gedeelten. Voor het gedeelte van de veenweg van 335 m, tussen lokatie B25 en de Herenstreek is de berekende aanvoerbehoefte van lokatie B25 aangehouden. Voor het resterende gedeelte van 240 m, ten westen van lokatie B25, is de berekende aanvoerbehoefte voor lokatie B26 als representatief verondersteld. De breedte van de veenweg is gesteld op 3,50 m (Caspari, 1982). Uit het stromingsbeeld van de infiltratie proeven is een randzone afgeleid van 0,75 m (Fig. 10 en 13). Dit houdt dus in dat over een breedte van 5,00 m dient te worden berekend om er zeker van te zijn dat de veenweg geheel is geïnundeerd. Voor een kwantificering van de totale wateraanvoerbehoefte wordt uitgegaan van:

- het berekend oppervlak van de veenweg ten westen van lokatie B25: $240 \times 5 = 1200 \text{ m}$ (in het vervolg aan te duiden als "Veenweg B26");
- het berekend oppervlak van de veenweg tussen lokatie B25 en de Herenstreek: $335 \times 5 = 1675 \text{ m}$ (in het vervolg aan te duiden als "Veenweg B25").

De getotaliseerde berekende beregeningsgiften per maand in mm (Fig. 44 en 45) zijn omgerekend naar gemiddelde dagwaarden per maand in mm.d^{-1} . Vervolgens is voor de beschouwde oppervlakten de gemiddelde aanvoer in $\text{m}^3.\text{d}^{-1}$ per maand berekend. Vanwege rendementsverliezen bij berekening zijn de waarden met 10% verhoogd. In Tabel 12 zijn de rekenresultaten weergegeven.

Tabel 12 Wateraanvoerbehoefte voor berekening.

	"Veenweg B25"						"Veenweg B26"					
	(mm.d ⁻¹)			(m ³ .d ⁻¹)			(mm.d ⁻¹)			(m ³ .d ⁻¹)		
	1975	1976	1977	1975	1976	1977	1975	1976	1977	1975	1976	1977
jan.		--	--	--	--	--	0,65	--	0,32	0,86	--	0,42
feb.	--	--	--	--	--	--	1,78	1,72	0,71	2,35	2,27	0,94
mrt.	--	--	--	--	--	--	1,29	1,93	1,93	1,70	2,55	2,55
apr.	--	--	--	--	--	--	1,67	3,50	2,00	2,20	4,62	2,64
mei	--	1,94	--	--	3,57	--	2,58	3,23	3,23	3,41	4,26	4,26
juni	2,17	2,67	2,00	4,00	4,92	3,69	4,33	4,50	4,50	5,72	5,94	5,94
juli	3,71	4,03	0,97	6,84	7,43	1,79	5,32	7,10	5,48	7,02	9,37	7,23
aug.	--	--	--	--	--	--	3,87	4,35	0,97	5,11	5,74	1,28
sep.	--	--	--	--	--	--	3,33	2,33	3,33	4,40	3,08	4,40
okt.	--	--	--	--	--	--	1,93	1,29	1,29	2,55	1,70	1,70
nov.	--	--	--	--	--	--	0,63	1,67	--	0,83	2,20	--
dec.	--	--	--	--	--	--	2,25	0,32	0,65	2,97	0,86	3,92

Uit Tabel 12 volgt dat in de maand juli in 1976 de grootste aanvoerbehoefte optrad; per dag bedroeg deze voor beide oppervlakten in totaal $16,8 \text{ m}^3$. Voor de gehele maand was dus $520,8 \text{ m}^3$ water nodig. Gezien het extreem droge jaar kan deze hoeveelheid als een maatgevende aanvoerbehoefte worden beschouwd.

8.2 Effecten van beheersmaatregelen

Bij de infiltratieproeven en met name bij lokatie B26 is gebleken dat de stijghoogte in de zandondergrond beneden het niveau van de veenbasis ligt. Er zijn beheersmaatregelen voorzien om de stijghoogte in de zandondergrond van de veenweg te verhogen.

Voor het aangeven van de effecten van deze maatregelen in een ruimtelijk beeld is het model FEMSAT (Querner, 1984, 1988) gebruikt. De berekeningen zijn uitgevoerd in superpositie; hierbij wordt verondersteld dat veranderingen in de grondwaterdiepte geen merkbare invloed hebben gehad op de omstandigheden aan het aardoppervlak.

Het aangegeven modelgebied in Fig. 1 is opgedeeld in 812 elementen met 449 knooppunten (Fig. 46). Een viertal knooppunten is gelegen op de veenweg (Fig. 2). Op grond van Fig. 34 en 41 alsmede de voorgenomen beheersmaatregelen is het modelgebied opgedeeld in zeven deelgebieden. De begrenzing van deelgebied 5 in westelijke richting is ruimer genomen dan is aangegeven in Fig. 41, door een schijngrondwaterspiegel in dat gebied.

Per knooppunt zijn gegevens ingevoerd over:

- geohydrologische parameters;
- relatie grond- en oppervlaktewater.

Uit Fig. 39 volgt dat het hydrologisch pakket is geschematiseerd tot:

- een afdekkend pakket;
- een eerste watervoerend pakket;
- een eerste scheidende laag;
- een tweede watervoerend pakket.

De geohydrologische parameters van bovengenoemde lagen zijn voor:

- * afdekkend pakket en eerste scheidende laag:
(laagdikte, c-waarde en specifieke bergingscoëfficiënt);
- * eerste en tweede watervoerend pakket:
(kD-waarde, laagdikte en specifieke bergingscoëfficiënt).

Voor de ingevoerde waarden per knooppunt, welke in de afzonderlijke deelgebieden gelijk zijn, wordt verwezen naar Aanhangsel 2.

Bij het aangeven van de relatie grond- en oppervlaktewater is voor de knooppunten onderscheid te maken tussen:

- kanaalknooppunten met een drainageweerstand;
- overige knooppunten met een drainageweerstand.

Als kanaalknooppunten zijn beschouwd het Scholtenskanaal, waterloop nr. 1a, 1b, 2, 3 en 4. Voor de knooppunten van waterloop nr. 1a en 1b is de drainageweerstand gesteld op 500 d en voor de resterende kanaalknooppunten op 999999 d. Voor de overige knooppunten zijn per deelgebied de volgende drainageweerstanden gebruikt:

- deelgebied 1, 2 en 5 (drainageweerstand 500 d; de waarde hiervoor is gebaseerd op de veronderstelling dat een stijghoogteverandering in de zandondergrond weinig effect veroorzaakt op de veenwaterstand);
- deelgebied 3 en 4 (drainageweerstand 5000 d; op grond van de overweging dat de oppervlaktewaterafvoer in deze deelgebieden van weinig betekenis is);

- deelgebied 6 (drainageweerstand 100 d; gebaseerd op slootafstanden, kD-waarde en radiale weerstanden);
- deelgebied 7 (drainageweerstand 999999 d; de ontwatering in dit deelgebied is toegekend aan de kanaalknooppunten).

Tot slot nog enige informatie over de kanaalknooppunten. Voor deze knooppunten is een direct contact verondersteld met het eerste watervoerend pakket. De invoergegevens betreffen:

- radiale weerstand;
- bodemweerstand;
- bodembreedte.

Voor de radiale weerstand en de bodemweerstand is uitgegaan van de hiervoor verkregen waarden in hoofdstuk 3. De bodembreedte is gebaseerd op veldopnamen. In Tabel 13 zijn de gebruikte waarden weergegeven.

Tabel 13 Radiale weerstand en bodemweerstand voor de kanaalknooppunten.

Waterloop	Ω_s (d.m ⁻¹)	c_b (d)	B (m)
1a	0,2	0,4	2
1b	0,6	0,4	1
2(1/7)	0,6	0,4	1
2	0,2	0,4	2
3(1/7)	0,6	0,4	1
4	0,2	0,4	5
Scholtenskanaal	0,2	0,4	10

Met FEMSAT zijn de volgende situaties doorgerekend:

- 1 permanente peilverhoging waterloop nr. 1a met 0,55 m;
- 2 peilverhoging waterloop nr. 1a met 0,20 m in de maanden januari tot en met april;
- 3 peilverhoging waterlopen in deelgebied 7 met 0,40 m van mei tot en met september;
- 4 permanente peilverhoging waterloop nr. 3 met 0,40 m;
- 5 alle peilverhogingen in de zomer;
- 6 alle peilverhogingen in de winter.

Op een bepaald dagnummer zijn de peilen voor de betreffende knooppunten in de onderscheiden situaties aangepast. In het algemeen is binnen een week een stationaire toestand bereikt. De dan verkregen effecten van de doorgerekende situaties zijn in Fig. 47 t/m 52 weergegeven. In Tabel 14 zijn de resultaten voor een drietal knooppunten van de veenweg (Fig. 2) weergegeven.

Tabel 14 Effecten beheersmaatregelen.

Situatie	Verhoging stijghoogte zandondergrond (cm)		
	knooppunt 197	knooppunt 196	knooppunt 195
1	5	12	14
2	2	4	5
3	-	-	-
4	-	-	1
5	6	12	15
6	8	16	21

Voor situatie nr. 1 is bij een peilverhoging van 0,55 m een wegzijging berekend van $0,32 \text{ m}^2.\text{d}^{-1}$ voor een lengte van de waterloop van 880 m. Het wegzijgingsdebiet komt overeen met het drainage-debiet van $0,2\text{--}0,3 \text{ m}^2.\text{d}^{-1}$, verkregen in hoofdstuk 3.

Als conclusie valt uit Tabel 14 af te leiden dat alleen een peilverhoging van de waterloop langs de zandweg (beheersweg) in het Oosterbos enig effect van betekenis heeft op een verhoging van de stijghoogte. De peilverhoging van waterloop nr. 3 in situatie 4 is alleen te realiseren als water uit waterloop nr. 2 wordt opgepompt. De peilverhoging in deelgebied 7 heeft 's zomers in deze waterloop praktisch geen invloed, omdat de bodemhoogte van deze waterloop ongeveer op de hoogte van het toekomstig stuwpeil van 13,70 m + NAP ligt.

Voor de gebruikte bodemconstanten (Tabel 13 en Aanhangsel 2) is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor de stijghoogteverhoging in de zandondergrond voor de knooppunten 195 t/m 197. De berekeningen zijn uitgevoerd voor situatie nr. 1 en weergegeven in Tabel 15.

Uit Tabel 15 blijkt dat de bodemweerstand de meest gevoelige factor is en de k_2D_2 -waarde van het tweede watervoerend pakket de minst gevoelige factor. De variatie in de berekende verhogingen van de stijghoogte in de zandondergrond blijft beperkt tot enkele centimeters, zodat de resultaten in Tabel 14 als indicatie kunnen worden aangehouden.

Tot de beheersmaatregelen behoort ook het dichten van de waterloop aan de zuidwestzijde van het Oosterbos en een verondieping van de waterloop langs de Herenstreek. Aangezien uit Fig. 53 en de bodemhoogte van de betreffende waterlopen kan worden afgeleid, dat de stijghoogte in de zandondergrond ongeveer 1,00 m beneden de bodem ligt, hebben deze maatregelen geen effect op de

Tabel 15 Gevoeligheidsanalyse bodemconstanten.

Variabele	Niveau	Omschrijving	Verhoging stijghoogte zandondergrond (cm)			Wegzijgingsdebiet waterloop 1a ($\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$)
			195	196	197	
bodem-	hoger	0,6 d	12	10	4	0,27
weerstand	-	0,4 d	14	12	5	0,32
(c_b)	lager	0,2 d	18	14	7	0,41
doorlaat-	hoger	60 $\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$	15	13	6	0,36
vermogen	-	40 $\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$	14	12	5	0,32
1e wvp. ($k_1 D_1$)	lager	20 $\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$	12	9	4	0,28
verticale	hoger	750 d	16	13	6	0,30
weerstand	-	500 d	14	12	5	0,32
scheidende	-					
laag (c_1)	lager	250 d	12	9	5	0,38
doorlaat-	hoger	1500 $\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$	14	11	5	0,34
vermogen	-	1000 $\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$	14	12	5	0,32
2e wvp. ($k_2 D_2$)	lager	500 $\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$	15	13	6	0,32

stijghoogte. De waterlopen hebben daar voornamelijk een transportfunctie; wel vindt door deze waterlopen afvoer uit het betreffende perceel plaats die kan worden toegeschreven aan runoff en afvoer door de bovengrond.

8.3 Conclusies en aanbevelingen

- Door berekening is het mogelijk om de veenwaterstand permanent boven het niveau van de veenweg te handhaven. Voor het gedeelte van de veenweg ten westen van lokatie B25 dient praktisch het gehele jaar te worden beregend en is relatief het meeste water nodig. De intensieve berekening leidt tevens tot een verhoging van de stijghoogte in de zandondergrond van de veenweg met 5-10 cm. Voor het gedeelte van de veenweg tussen lokatie B25 en de Herenstreek is alleen berekening nodig in de zomer. De maatgevende aanvoerbehoefte voor de veenweg ten noordwesten van de Herenstreek kan worden gesteld op $520,8 \text{ m}^3 \cdot \text{maand}^{-1}$. Door de gronden vrij te houden van vegetatie zal de verdamping afnemen. Voor een gemiddeld jaar zal deze vermindering in de maanden juni t/m augustus globaal 80 mm bedragen, hetgeen betekent dat in een dergelijk jaar de veenwaterstand bij B25 en ten oosten daarvan niet beneden het niveau van de veenweg daalt.
- In het perceel ten oosten van lokatie B25 dat in een punt

uitloopt kan in de wintermaanden afvoer door de bovengrond en runoff van betekenis zijn. Het dempen van de aanwezige greppels, het aanleggen van dammetjes en eventueel het aanbrengen van plastic folie tot een diepte van 40 cm kunnen bijdragen tot een optimaler gebruik van het neerslagoverschot in de winter. Ook kan worden genoemd het voornemen om deze waterloop aan de zuidwestzijde van het Oosterbos te dempen en de waterloop aan de noordzijde van de Herenstreek te verleggen naar de zuidzijde en tegelijkertijd te verondiepen.

- Het water voor beregening dient aangevoerd te worden vanuit een bufferbassin in het Oosterbos. Als mogelijkheid hiervoor is uitgegaan van een opgestuwde waterloop langs de beheersweg door het Oosterbos.
- Uit de doorgerekende scenario's om de stijghoogte in de zandondergrond van de veenweg te verhogen blijkt alleen het opstuwen van de waterloop langs de beheersweg een merkbaar effect op te leveren. Hierbij wordt tevens aanbevolen om waterloop nr. 3 ten oosten van het Oosterbos met 0,10-0,20 m te verondiepen.
- Uit Fig. 54 en de berekende verhogingen in Tabel 14 blijkt dat tussen lokatie B25 en de Herenstreek de zekerheid wordt vergroot dat de stijghoogte in de zandondergrond permanent boven de veenbasis ligt. Voor het gedeelte van de veenweg ten westen van lokatie B25 ligt de stijghoogte in de zandondergrond op veelal meer dan 1,00 m beneden de veenbasis. Voor dit traject is het niet mogelijk de stijghoogte te verhogen tot aan de veenbasis.
- Op grond van beschikbare grondwaterstandsgegevens wordt een stuwpeil voorgesteld van 15,15 m + NAP voor de eerste 1000 m van de waterloop langs de beheersweg door het Oosterbos vanaf de Herenstreek. Om een optimaal effect van de gestuwde waterloop te verkrijgen is het noodzakelijk in de richting van de Verlengde Splitting een aantal stuwen te plaatsen om een te groot verval in de waterpeilen tegen te gaan.
- Het opstuwen van de waterloop langs de beheersweg tot een peil van 15,15 m + NAP zal er toe leiden dat de beheersweg praktisch onder water komt te staan (Fig. 55). Voor de aanleg van een fietspad langs de beheersweg is een ontwerp eveneens in Fig. 55 aangegeven. Hierbij wordt de bestaande waterloop aan de oostzijde van de beheersweg verbreed en eventueel uitgediept. Met het vrijkomend materiaal kan de waterloop aan de westzijde worden gedempt en het resterende deel van de beheersweg opgehoogd, zodat een drooglegging van 0,75 m wordt verkregen. Ten westen van het fietspad is een ondiepe greppel gepland voor de afvoer van uittredend veenwater.
- De opgestuwde waterloop langs de beheersweg zal enerzijds dienen om de stijghoogte in de zandondergrond van de veenweg te

verhogen en anderzijds als bufferbassin, waaraan water kan worden onttrokken voor beregning van de veenweg. In hoeverre dit tweeledig doel kan worden nagestreefd is in de volgende tabellen aangegeven. Aangezien vooral in de zomermaanden de openwaterverdamping aanzienlijk kan zijn, is allereerst het verdampingsoverschot voor de opgestuwde waterloop bepaald (Tabel 16). De waarden hiervoor zijn uitgedrukt als een gemiddelde dagwaarde per maand in mm.d^{-1} . Hiervoor zijn gegevens van de neerslag van het station Klazinaveen, en de openwaterverdamping volgens Penman van het station Eelde gebruikt. Voor het verkrijgen van de etmaalverdamping is de openwaterverdamping met 0,91 vermenigvuldigd (Rijtema en Ryhiner, 1968).

Tabel 16 Verdampingsoverschot van de opgestuwde waterloop.

	Verdampingsoverschot (mm.d^{-1})			Verdampingsoverschot ($\text{m}^3.\text{d}^{-1}$)(*)		
	1975	1976	1977	1975	1976	1977
jan	-2,19	-3,35	-1,74	-15,33	-23,45	-12,18
feb.	-0,68	-0,24	-1,82	- 4,76	- 1,68	-12,74
mrt.	-1,19	0,52	0,13	- 8,33	3,64	0,91
apr.	-0,13	2,13	0,27	- 0,91	14,91	1,89
mei	0,61	0,74	1,48	4,27	5,18	10,36
juni	2,37	3,37	0,80	16,59	23,59	5,60
juli	1,58	3,13	1,84	11,06	21,91	12,88
aug.	2,45	2,61	-1,48	17,15	18,27	-10,36
sep.	0,37	-0,87	1,07	2,59	- 6,09	7,49
okt.	-0,10	-0,71	-1,03	- 0,70	- 4,97	-7,21
nov.	-2,27	-1,17	-3,60	-15,89	- 8,19	-25,20
dec.	-0,61	-2,58	-1,68	- 4,27	-18,06	-11,76

(* wateroppervlakte $1000 \times 7 \text{ m}^2$)

Uit de Tabellen 12 en 16 volgt de onttrekking aan de opgestuwde waterloop tengevolge van de aanvoerbehoefte voor beregning en het verdampingsoverschot. In Tabel 17 is een overzicht gegeven van de afzonderlijke balanstermen en de totale onttrekking. Uit de totale onttrekking in Tabel 17 en het gegeven dat in de periode januari t/m april nog een afvoer plaats vindt van $0,1 \text{ m}^2.\text{d}^{-1}$ ofwel $100 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$ voor de opgestuwde waterloop, kan worden aangenomen dat het stuwpeil in die periode kan worden gehandhaafd en dat zelfs nog enige afvoer plaats vindt. Vanaf mei leidt een onttrekking tot een verlaging van het peil in de gestuwde waterloop, hetgeen een toestroming activeert. Als meest extreme situatie kan de maand juli in 1976 worden beschouwd, in deze maand bedraagt de totale onttrekking $38,71 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$ ofwel ongeveer $0,04 \text{ m}^2.\text{d}^{-1}$. Uit Fig. 24 en par. 3.3.2 blijkt dat een peilverlaging van 50 cm een extra drainage geeft van $0,20 \text{ m}^2.\text{d}^{-1}$. Om deze onttrekking te compenseren door drainage is een peilverlaging nodig van bij benadering 0,10 m.

Tabel 17 Onttrekking aan de opgestuwde waterloop voor beregening en het verdampingsoverschot.

Onttrokken hoeveelheid water (m ³ .d ⁻¹)(*)									
1975			1976			1977			
Ber.	Verd.	Ont.	Ber.	Verd.	Ont.	Ber.	Verd.	Ont.	
jan.	0,86	-15,33	-14,47	--	-23,45	-23,45	0,42	-12,18	-11,76
feb.	2,35	-4,76	-2,41	2,27	-1,68	0,59	0,94	-12,74	-11,80
mrt.	1,70	-8,33	-6,63	2,55	3,64	6,19	2,55	0,91	3,96
apr.	2,20	-0,91	1,29	4,62	14,91	19,53	2,64	1,89	4,53
mei	3,41	4,27	7,68	7,83	5,18	13,01	4,26	10,36	14,62
juni	9,72	16,59	26,31	10,86	23,59	34,45	9,63	5,60	15,23
juli	13,86	11,06	24,92	16,80	21,91	38,71	9,02	12,88	21,90
aug.	5,11	17,15	22,26	5,74	18,27	24,01	1,28	-10,36	-9,08
sep.	4,40	2,59	6,99	3,08	-6,09	-3,01	4,40	7,49	11,89
okt.	2,55	-0,70	1,85	1,70	-4,97	-3,27	1,70	-7,21	-5,51
nov.	0,83	-15,89	-15,06	2,20	-8,19	-5,99	--	-25,20	-25,20
dec.	2,97	-4,27	-1,30	0,86	-18,06	-17,20	3,92	-11,76	-7,84

(* wateroppervlakte $1000 \times 7 \text{ m}^2$)

Ber. = onttrekking voor beregening

Verd. = verdampingsoverschot

Ont. = totale onttrekking

Uit het voorgaande volgt dat door het opstuwen van de waterloop langs de beheersweg een bufferbassin kan worden gecreëerd, waaraan water kan worden onttrokken voor beregening van de veenweg, en tegelijkertijd een verhoging van de stijghoogte in de zandondergrond van de veenweg wordt bereikt. Verder levert de openwaterverdamping een relatief belangrijke bijdrage aan de onttrekking. Dit leidt tot de aanbeveling om de breedte van de waterloop (Fig. 55) voor zover mogelijk te beperken.

LITERATUUR

- Caspari, W.A., 1982. The neolithic wooden trackway XXI (Bou) in the raised bog at Nieuw-Dordrecht (The Netherlands). *Palaeohistoria* 24, pp. 116 - 164.
- Querner, E.P., 1984. Program FEMSAT, Part 1 - Calculation method for steady and unsteady groundwater flow. Wageningen, ICW. Nota 1557.
- Querner, E.P., 1988. Program FEMSAT, Part 2 - Users manual. Wageningen, ICW. Nota 1558.
- Rijks Geologische Dienst, 1975. Inventarisatie geologische gegevens van Emmen en omgeving. Haarlem, RGD. Rapport no. 10151.
- Rijtema, P.E. en A.H. Ryhiner, 1968. De lysimeters in Nederland (III). Aspecten van verdamping en resultaten van verdampingsonderzoek. Versl. en Meded. Hydrol. Comm. TNO 14: 86-149.
- Streefkerk, J.G., 1987. Een hydrologisch advies omtrent een neolithische veenweg nabij Nieuw-Dordrecht in Zuidoost-Drenthe. Interne notitie Staatsbosbeheer.
- Streefkerk, J.G., 1987. Vervolg hydrologisch onderzoek van neolithische veenweg nabij Nieuw-Dordrecht. Interne notitie Staatsbosbeheer.
- Technische Werkgroep Grondwaterplan, 1985. Rapport van de technische werkgroep grondwaterplan 2. Assen.
- Wesseling, J.G., P. Kabat, B.J. van den Broek en R.A. Feddes, 1988. Program SWACROP, Simulation model of the waterbalance of a cropped soil providing different types of boundary conditions including the possibility to calculate crop yield and irrigation. Wageningen, ICW.
- Wösten, J.H.M., M.H. Bannink en J. Beuving, 1987. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland. De Staringreeks. Wageningen, ICW. Rapport 18.

**Aanhangsel 1 Het doorlaatvermogen van de aangeboorde watervoerende pakketten
in boring D 45.**

Kaartblad :18 C

Boring :D 45

Coördinaten :263.800 531.300

Bovenkant (m - mv.)	Onderkant (m - mv.)	Grond- soort	U- cijfer	Sorte- ring	Slib- gehalte	Grind- gehalte	k- factor	Dikte grondlaag	kD	kD- totaal
0,00	2,25	veen								
2,25	3,00	zand	100	65	1		4	0,75	3	
3,00	5,00	zand	100	65	1		4	2,00	8	
5,00	7,50	zand	100	65	1,5		3	2,50	8	
7,50	9,50	zand	80	65	1,5		5	2,00	10	
9,50	12,00	zand	80	60	2,5		3	2,50	8	
12,00	14,00	zand	100	55	2,5		2	2,00	4	
14,00	16,50	zand	90	60	2,5		3	2,50	7	
16,50	18,60	zand	80	60	2,5		3	2,10	7	
18,60	19,00	zand	70	60	2,5		4	0,40	2	57
19,00	20,00	veen								
20,00	20,60	zand	65	60	2,5		5	0,60	3	3
20,60	22,50	veen								
22,50	25,00	zand	60	70	1		12	2,50	30	
25,00	26,00	zand	55	70	1		14	1,00	14	
26,00	27,30	zand	60	65	1		11	1,30	14	
27,30	29,75	zand	80	50	6	50	1	2,45	2	
29,75	31,00	zand	100	65	4		1	1,25	2	62
31,00	32,00	leem								
32,00	33,50	zand	60	65	6		1	1,50	2	
33,50	35,50	zand	80	70	1,5		6	2,00	12	
35,50	38,00	zand	60	80	1,5		13	2,50	33	
38,00	40,00	zand	50	90	1		28	2,00	55	
40,00	43,00	zand	60	70	2,5		8	3,00	23	
43,00	45,00	zand	70	65	1,5		7	2,00	14	
45,00	46,00	zand	35	50	1,5	43	25	1,00	25	
46,00	48,00	zand	60	65	1,5		9	2,00	18	
48,00	52,00	zand	80	90	2,5		7	4,00	28	
52,00	54,00	zand	45	55	1	40	19	2,00	37	
54,00	56,00	zand	50	90	1		28	2,00	55	
56,00	58,00	zand	60	90	1		19	2,00	38	
58,00	60,00	zand	50	90	1		28	2,00	55	
60,00	63,00	zand	60	90	2,5		12	3,00	37	
63,00	66,00	zand	60	90	2,5		12	3,00	37	
66,00	70,00	zand	70	90	2,5		9	4,00	37	506

Aanhangsel 2 Geohydrologische bodemconstanten per deelgebied.

Subgebied nummer	kD-waarde ($m^2 \cdot d^{-1}$)	Dikte (m)	c-waarde (d)	Bergingscoëfficiënt	Specifieke bergingscoëfficiënt (m^{-1})
afdekkend pakket					
1		3	3000	0,05	
2		3	3000	0,05	
3		3	10	0,05	
4		3	10	0,05	
5		3	3000	0,05	
6		3	10	0,05	
7		3	10	0,05	
watervoerend pakket					
1	40	12			0,000025
2	40	12			0,000025
3	40	12			0,000025
4	40	12			0,000025
5	40	12			0,000025
6	40	12			0,000025
7	40	12			0,000025
scheidende laag					
1		5	500		0,000025
2		5	500		0,000025
3		5	500		0,000025
4		5	500		0,000025
5		5	500		0,000025
6		5	500		0,000025
7		5	500		0,000025
watervoerend pakket					
1	1000	50			0,000025
2	1000	50			0,000025
3	1000	50			0,000025
4	1000	50			0,000025
5	1000	50			0,000025
6	1000	50			0,000025
7	1000	50			0,000025

Aanhangsel 3 Figuren

1	Overzichtskaart
2	Detailkaart van de veenweg
3a	Tijdstijghoogtelijnen van B23
3b	Tijdstijghoogtelijnen van B24
3c	Tijdstijghoogtelijnen van B25
3d	Tijdstijghoogtelijnen van B26
4a	Lokatiekaart van infiltratieproef van B26
4b	Lokatiekaart van infiltratieproef van B25
5	Neerslag en verdamping
6	Verloop van infiltratiedebiet B26
7a t/m 7f	Tijdstijghoogtelijnen van infiltratieproef B26
8	Verloop van infiltratiedebiet van B25
9a t/m 9i	Tijdstijghoogtelijnen van infiltratieproef B25
10	Stromingsbeeld van infiltratieproef B26
11	Drukhoogteprofiel van infiltratieproef B26
12	Q(h)-relatie van infiltratieproef B26
13	Stromingsbeeld van infiltratieproef B25
14	Drukhoogteprofiel van infiltratieproef B25
15	Q(h)-relatie van infiltratieproef B25
16	Berekende drukhoogteprofielen van infiltratieproef B25
17	Detailkaart van de waterlopen in het Oosterbos
18	Lokatiekaart van de peilbuizen in het Oosterbos
19a en 19b	Tijdstijghoogtelijnen van raai B
20a en 20b	Tijdstijghoogtelijnen van raai A
21	Tijdstijghoogtelijnen van D45
22	Profieldoorsnede van raai B
23a t/m 23c	Stijghoogteverloop van zandondergrond van raai B op 13-14 okt., 18 okt., en 19 okt. 1988.
24	Stijghoogteverlaging in de zandondergrond van raai B tengevolge van slootpeilverlaging
25	Fluctuatie van de slootpeilen in raai A en B
26	Stijghoogteverlagingslijn in de zandondergrond
27	Stijghoogteverlagingspatroon in de zandondergrond
28	Stijghoogtelijnen van de zandondergrond in raai B
29	Profieldoorsnede met filterstelling in raai C
30	Tijdstijghoogtelijnen van N1 en N30 in raai C
31a t/m 31e	Tijdstijghoogtelijnen in raai C
32	Stijghoogteverloop van de zandondergrond in raai C
33	Relatieve stijghoogteverhoging in raai C
34	Kaart met waterlopen
35	Waterretentiekarakteristiek
36	Doorlatendheidskarakteristiek
37	Gemeten en berekende grondwaterstanden bij infiltratieproef B25
38	Aangepaste q(h)-relatie bij infiltratieproef B25
39	Geohydrologisch profiel A-A'
40	Verbreidingskaart van klei- en veenafzettingen uit het Eemien

- 41 Verbreidingskaart van het resterend hoogveen
- 42 Berekende grondwaterstandsverloop bij infiltratieproef
B25 van 1983 t/m 1985 met en zonder berekening
- 43 Berekende grondwaterstandsverloop bij infiltratieproef
B25 van 1975 t/m 1977 met en zonder berekening
- 44 Cumulatieve beregeningsgift bij infiltratieproef B25
- 45 Cumulatieve beregeningsgift bij infiltratieproef B26
- 46 Indeling van de deelgebieden
- 47 Effect van de peilverhoging van waterloop 1a op de
stijghoogte in de zandondergrond (constant)
- 48 Effect van de peilverhoging van waterloop 1a op de
stijghoogte in de zandondergrond (winter)
- 49 Effect van de peilverhoging in deelgebied VII op de
stijghoogte in de zandondergrond (zomer)
- 50 Effect peilverhoging van leiding nr. 3 op de stijghoogte
in de zandondergrond (constant)
- 51 Totaal effect van de peilverhogingen op de stijghoogte
in de zandondergrond (zomer)
- 52 Totaal effect van de peilverhogingen op de stijghoogte
in de zandondergrond (winter)
- 53 Isohysenkaart van de zandondergrond
- 54 Profieldoorsnede van de veenweg
- 55 Ontwerp profiel van het fietspad

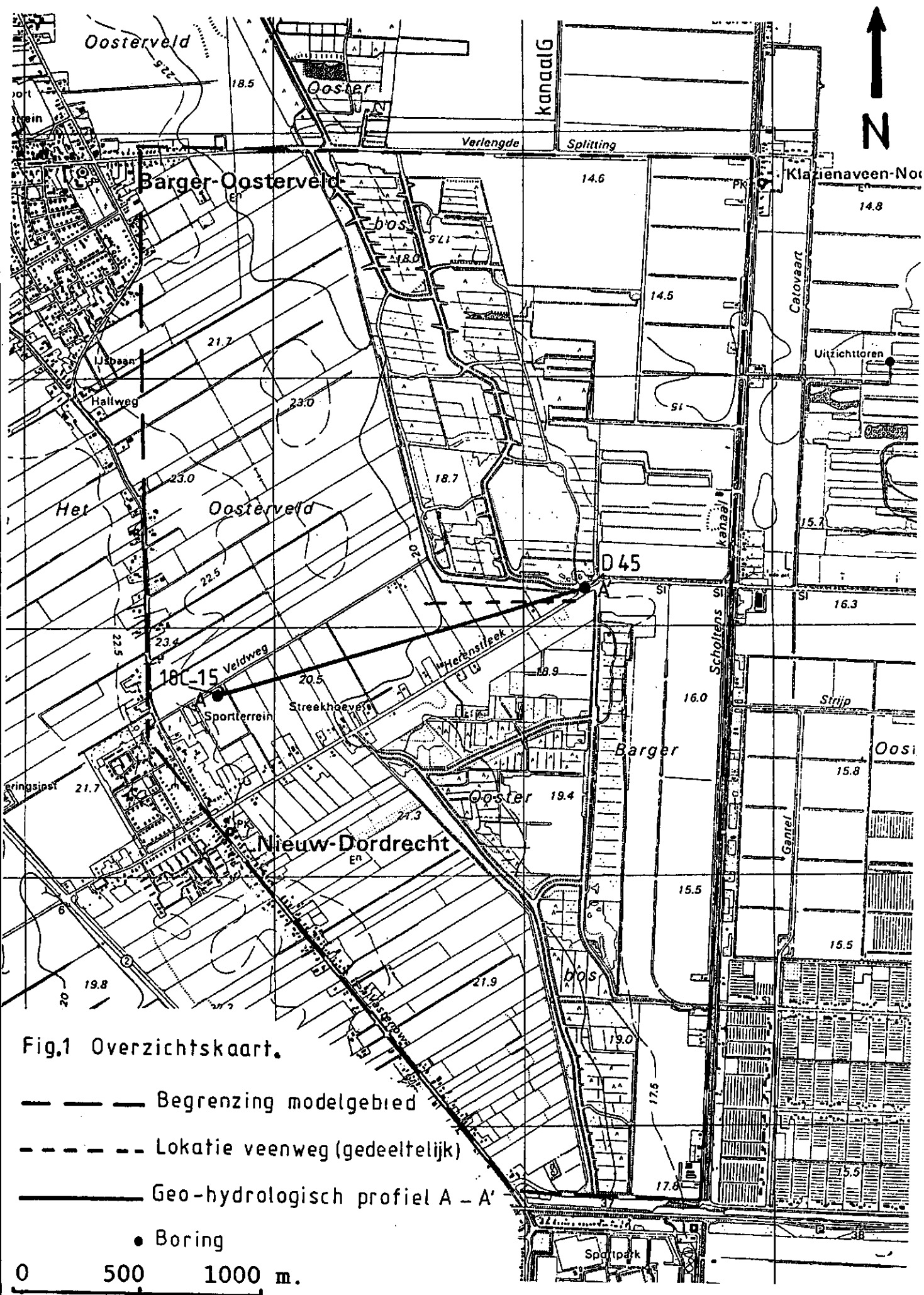


Fig. 2 Detailkaart veenweg.

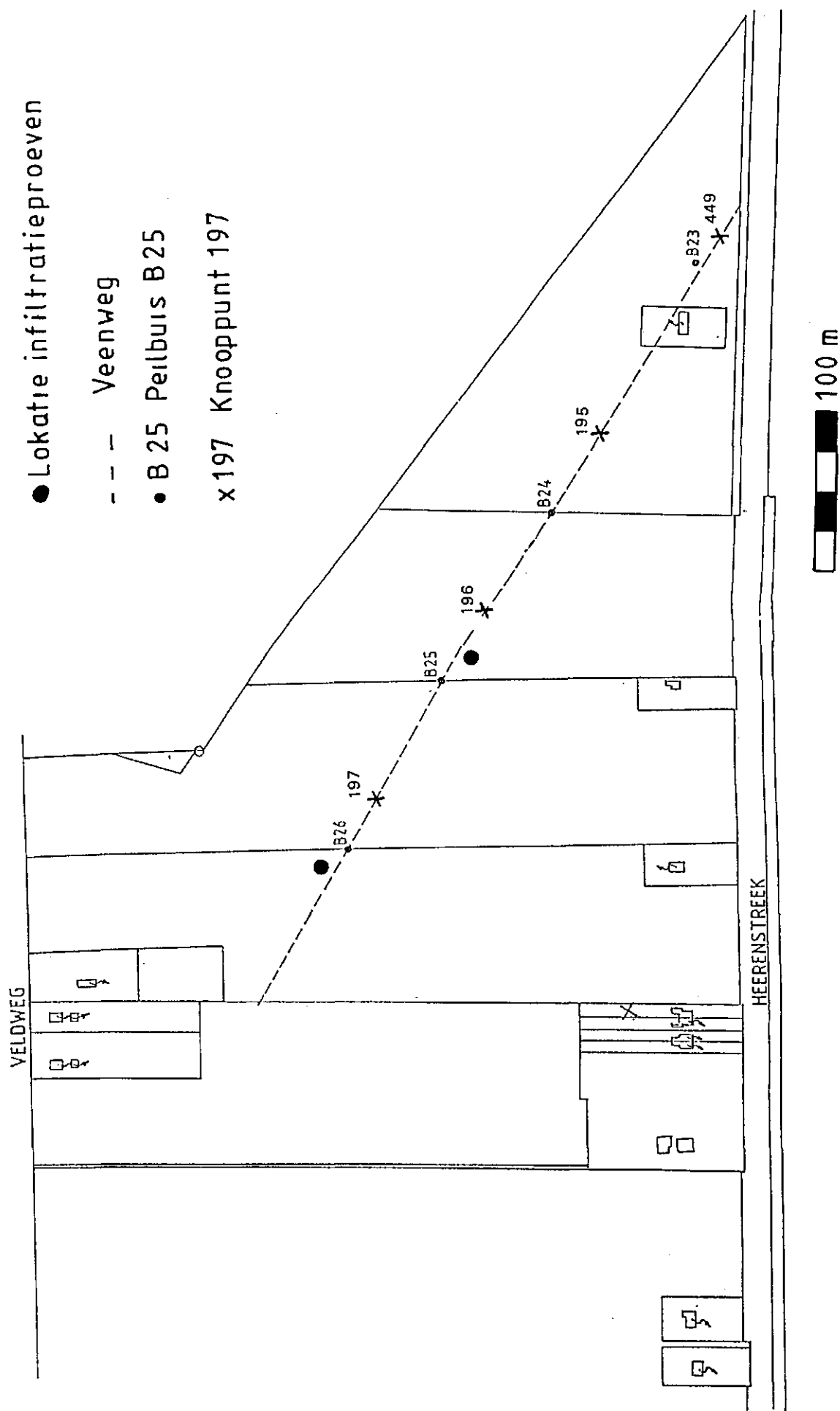


Fig. 3a Tijdstijghoogtelijnen B 23.

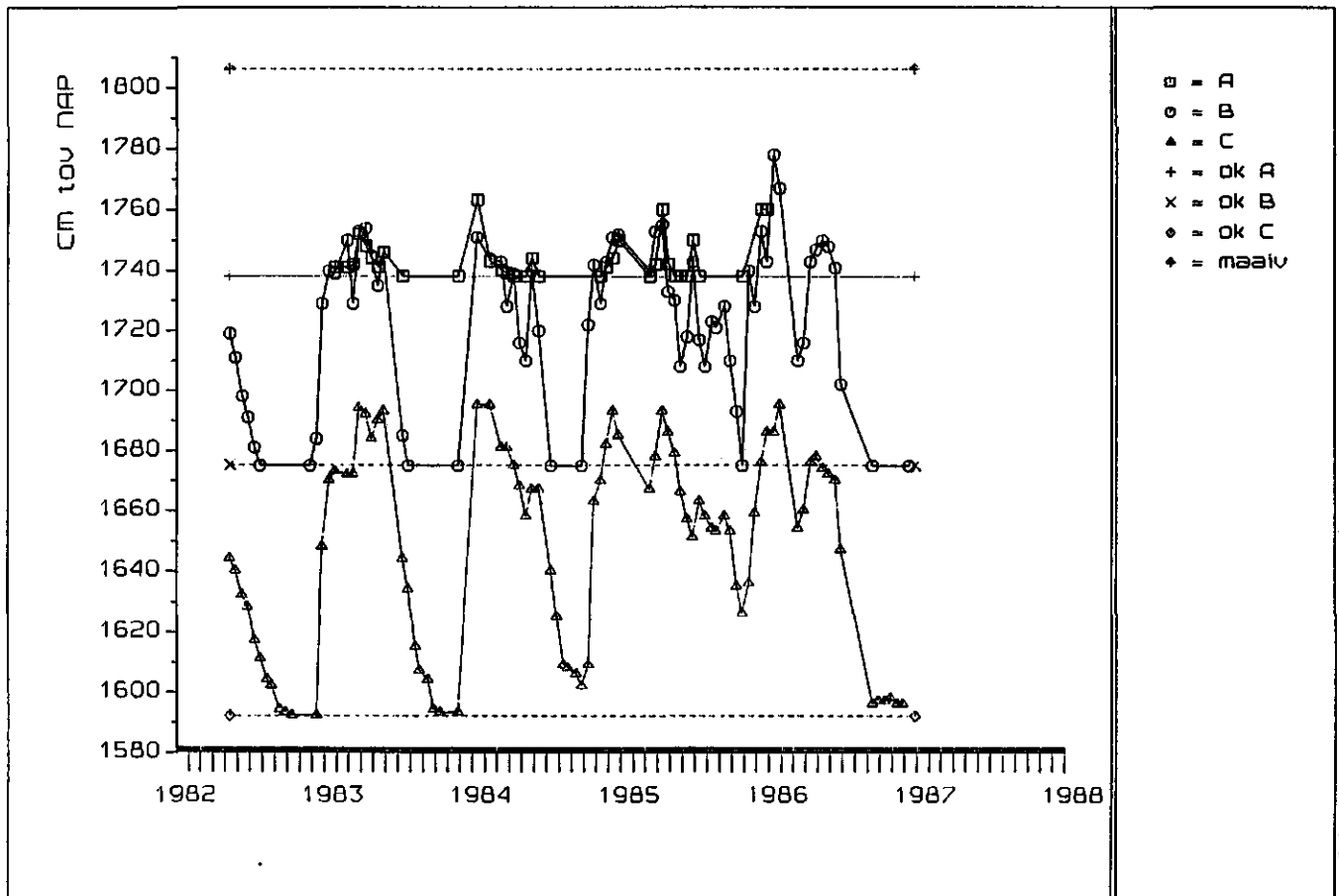


Fig. 3b Tijdstijghoogtelijnen B 24.

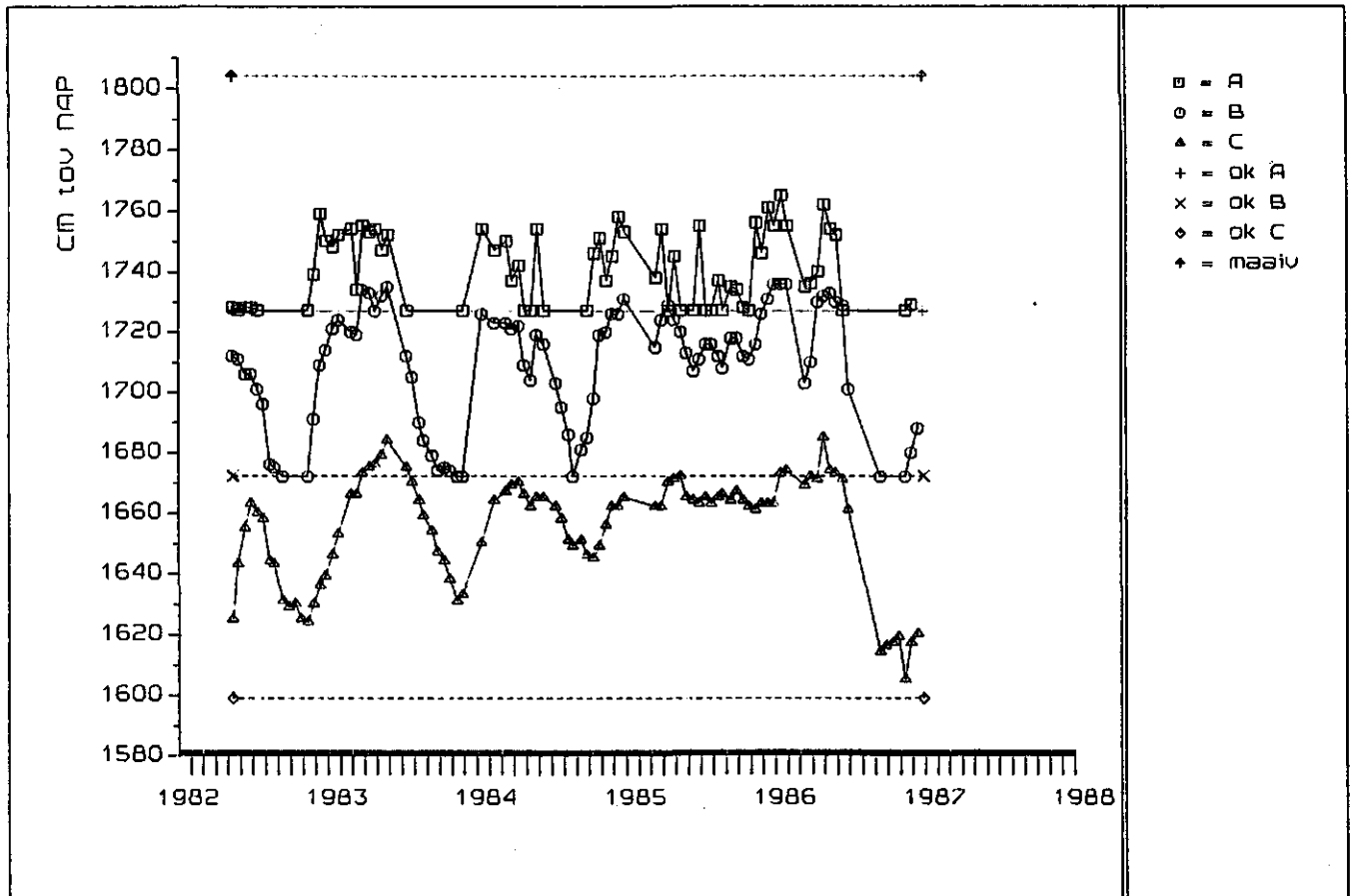


Fig. 3c Tijdstijghoogtelijnen B 25.

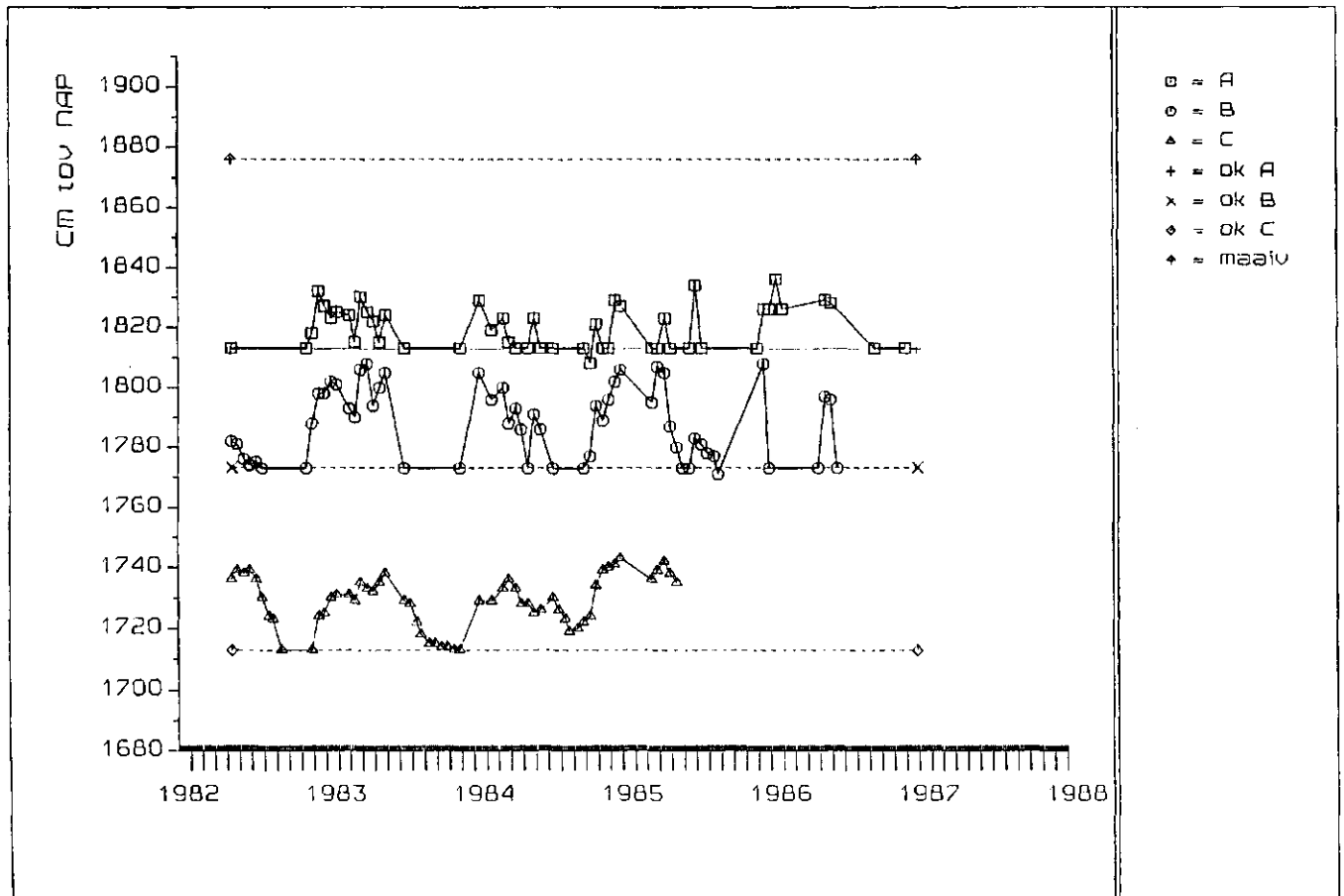


Fig. 3d Tijdstijghoogtelijnen B 26.

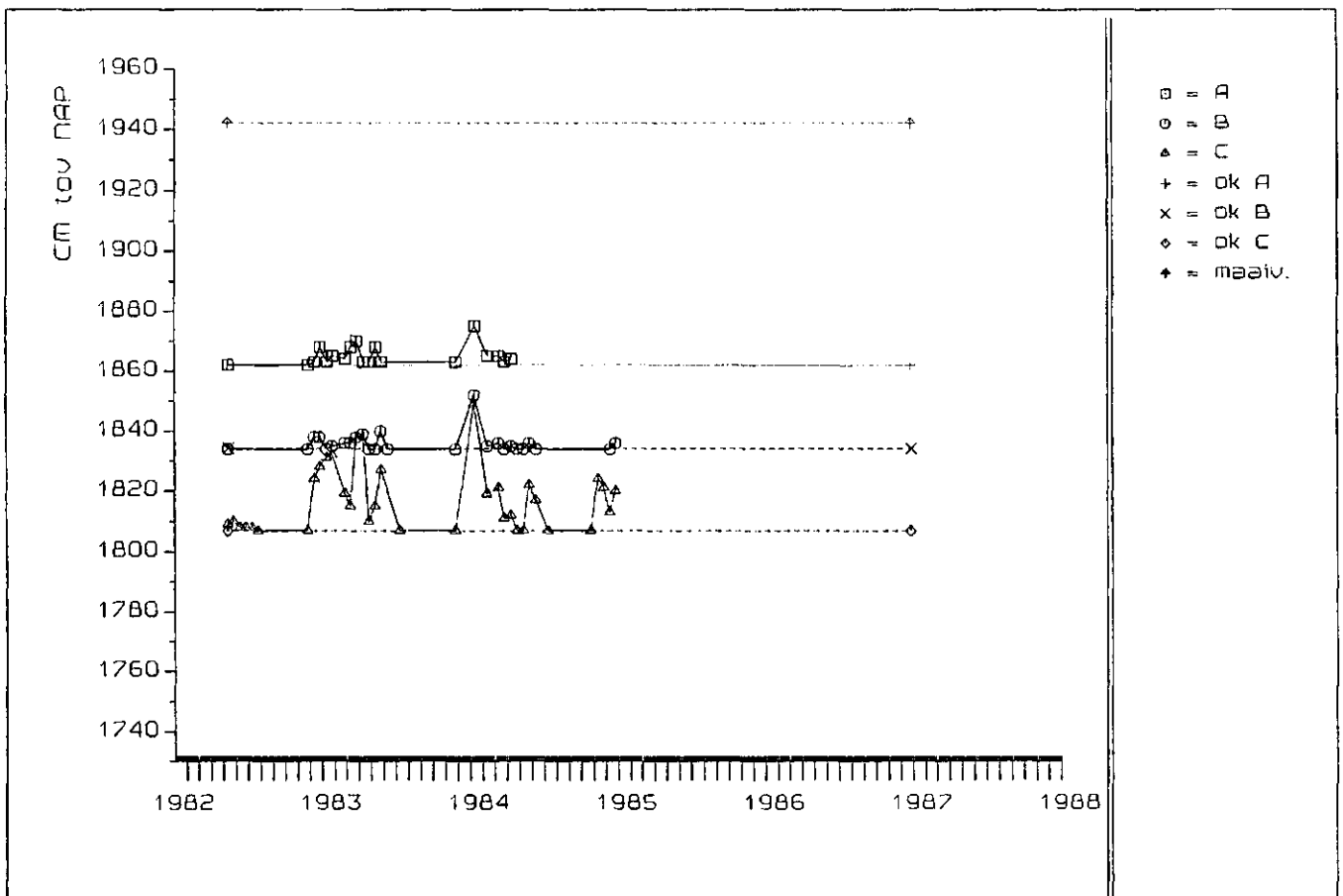
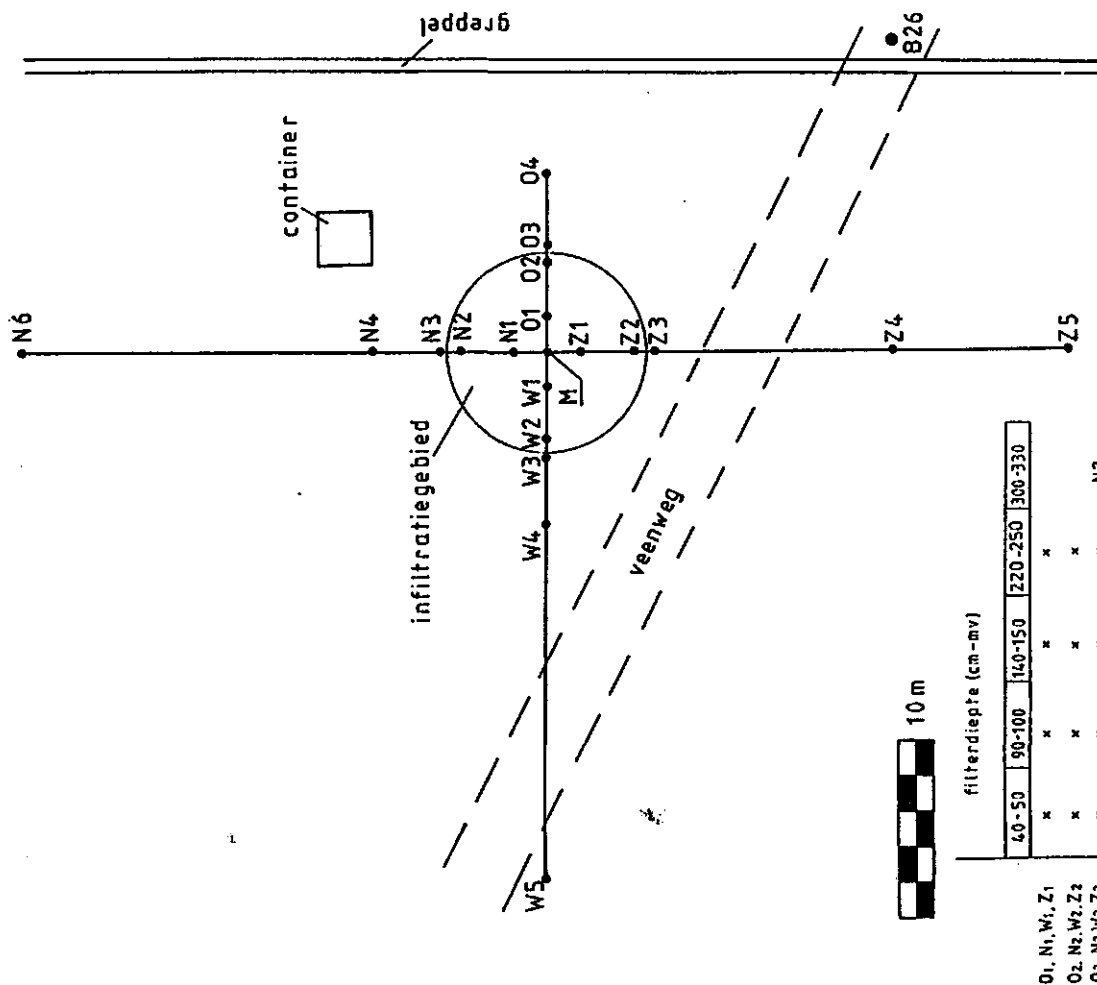
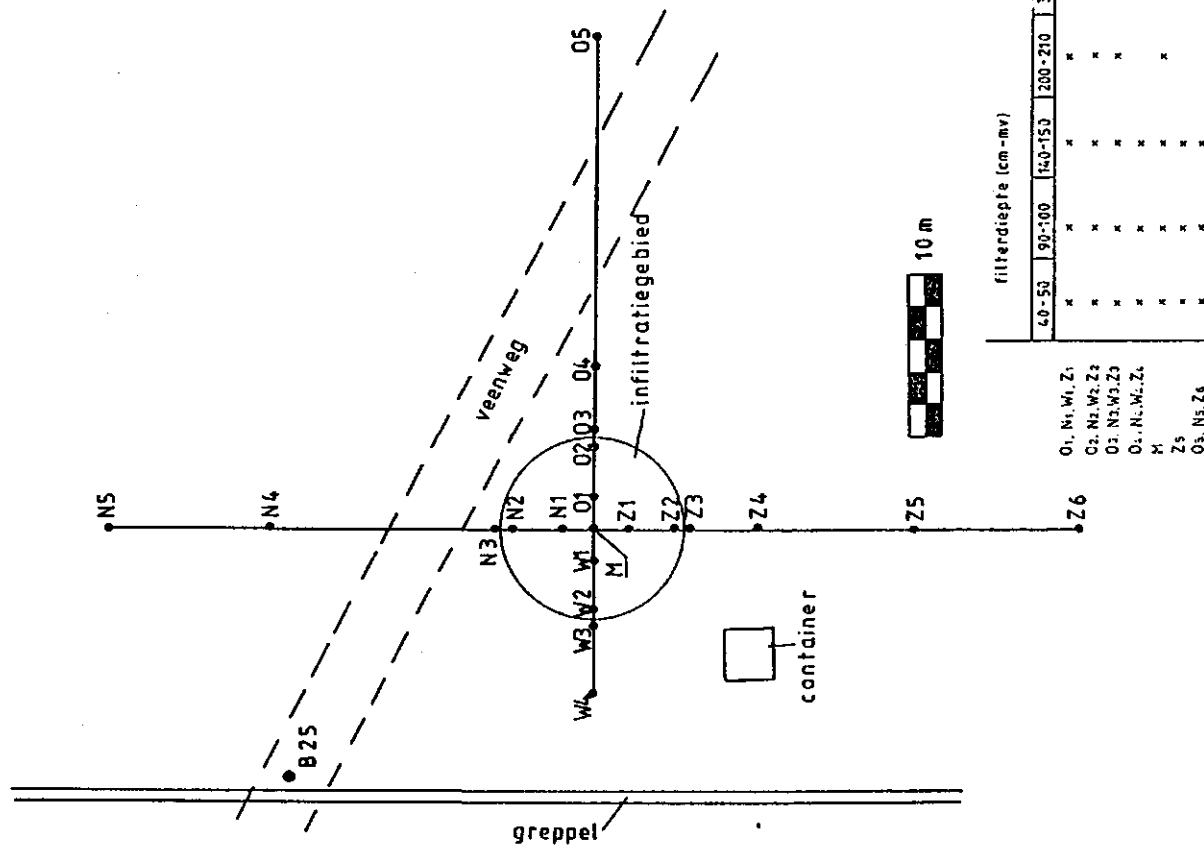


Fig. 4a Lokatiekaart infiltratieproef B26.



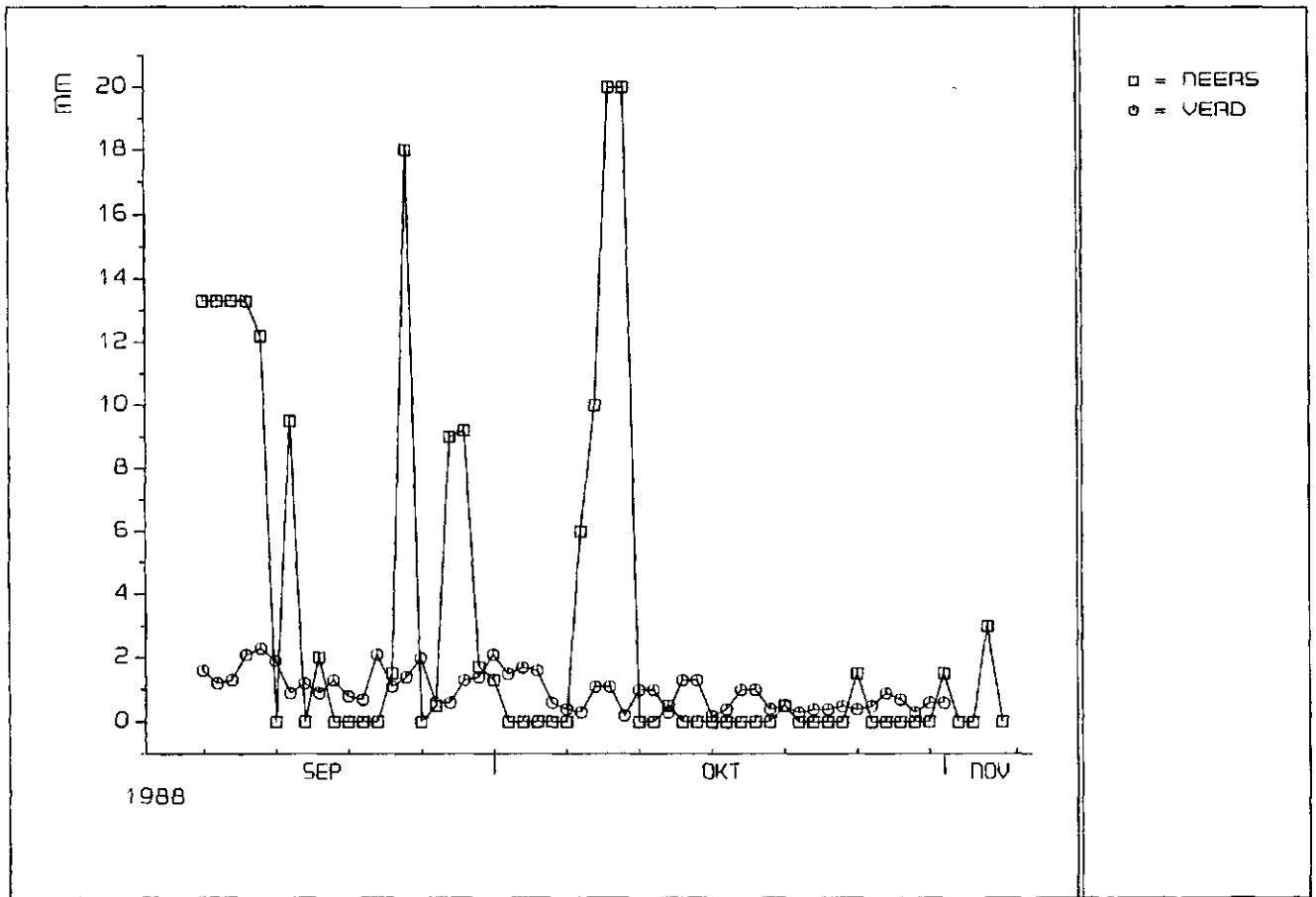
filterdiepte (cm-mv)				
40-50	90-100	140-150	220-250	300-330
O1, N1, W1, Z1	x	x	x	
O2, N2, W2, Z2	x	x	x	
O3, N3, W3, Z3	x	x	x	N3
O4, N4, W4, Z4	x	x	x	x
M	x	x	x	N6
N6, W5, Z5	x	x	x	

Fig. 4b Lokatiekaart infiltratieproef B25.



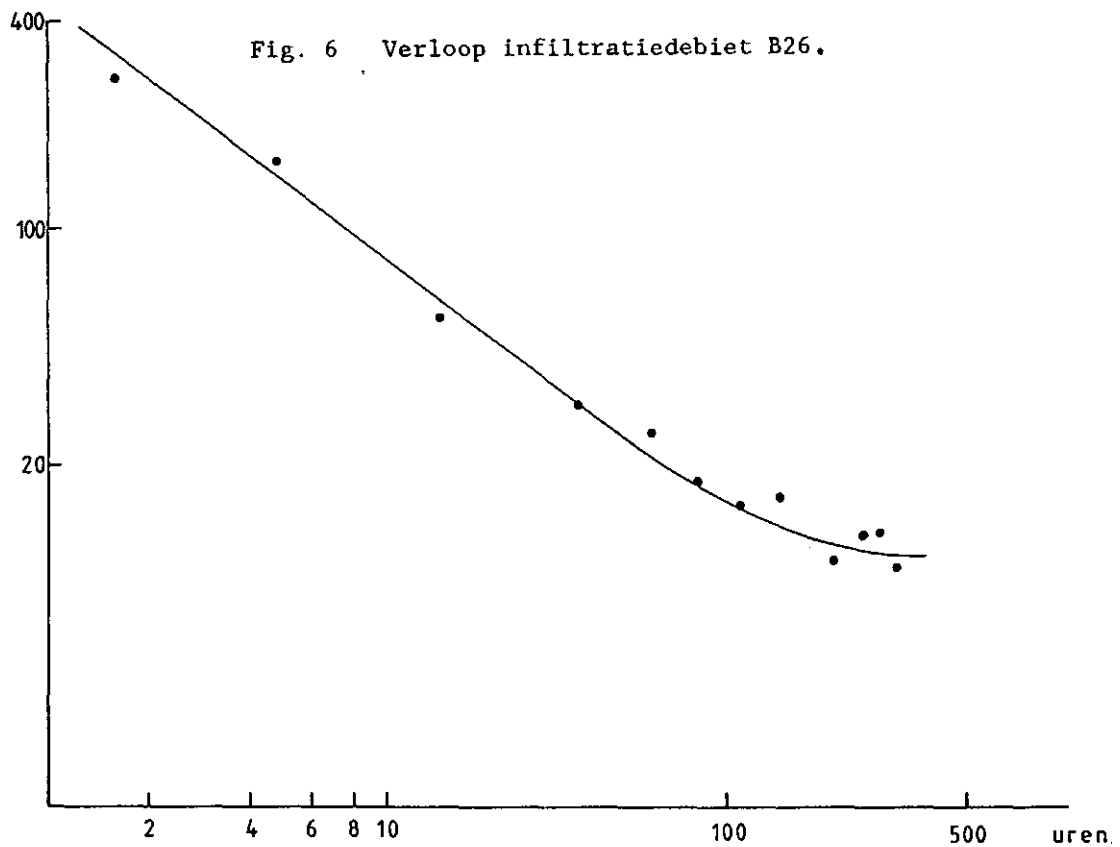
filterdiepte (cm-mv)				
40-50	90-100	140-150	200-210	320-350
O1, N1, W1, Z1	x	x	x	
O2, N2, W2, Z2	x	x	x	
O3, N3, W3, Z3	x	x	x	x
O4, N4, W4, Z4	x	x	x	x
M	x	x	x	
Z5	x	x	x	
O5, N5, Z6	x	x	x	x

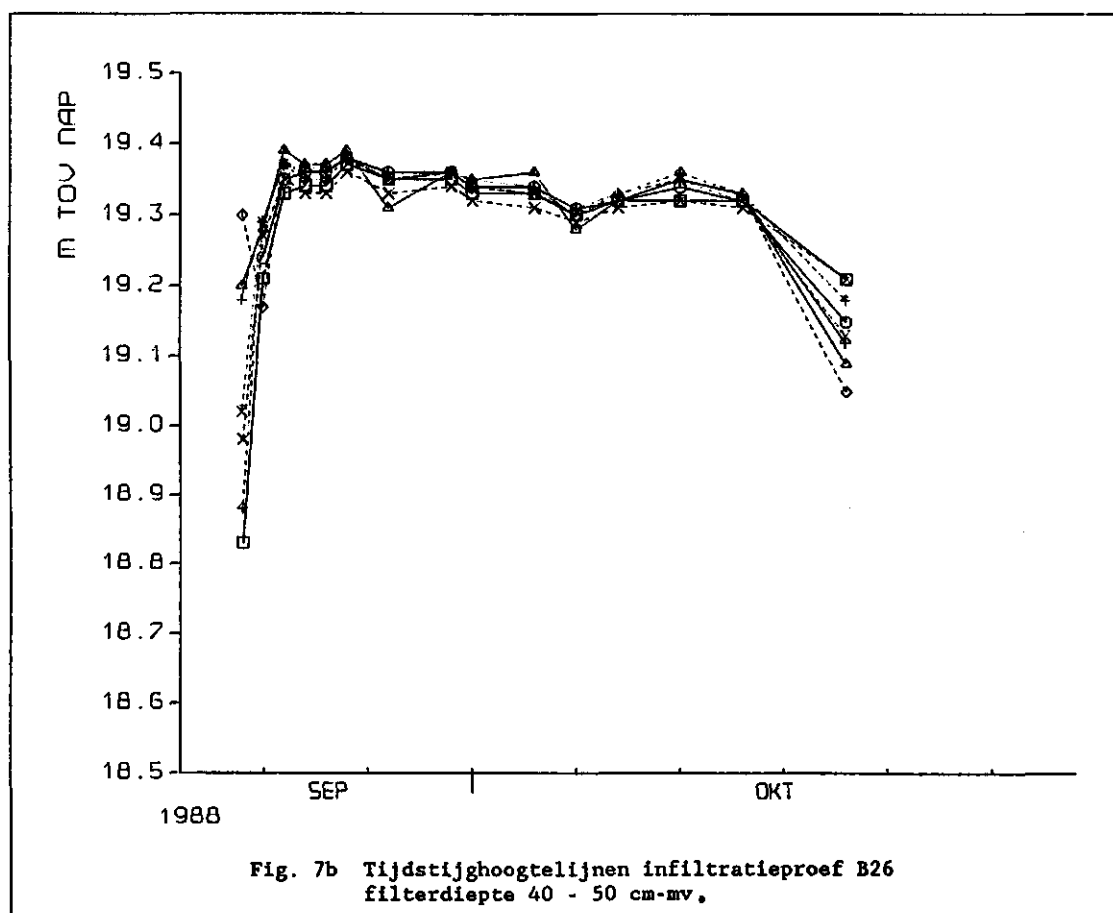
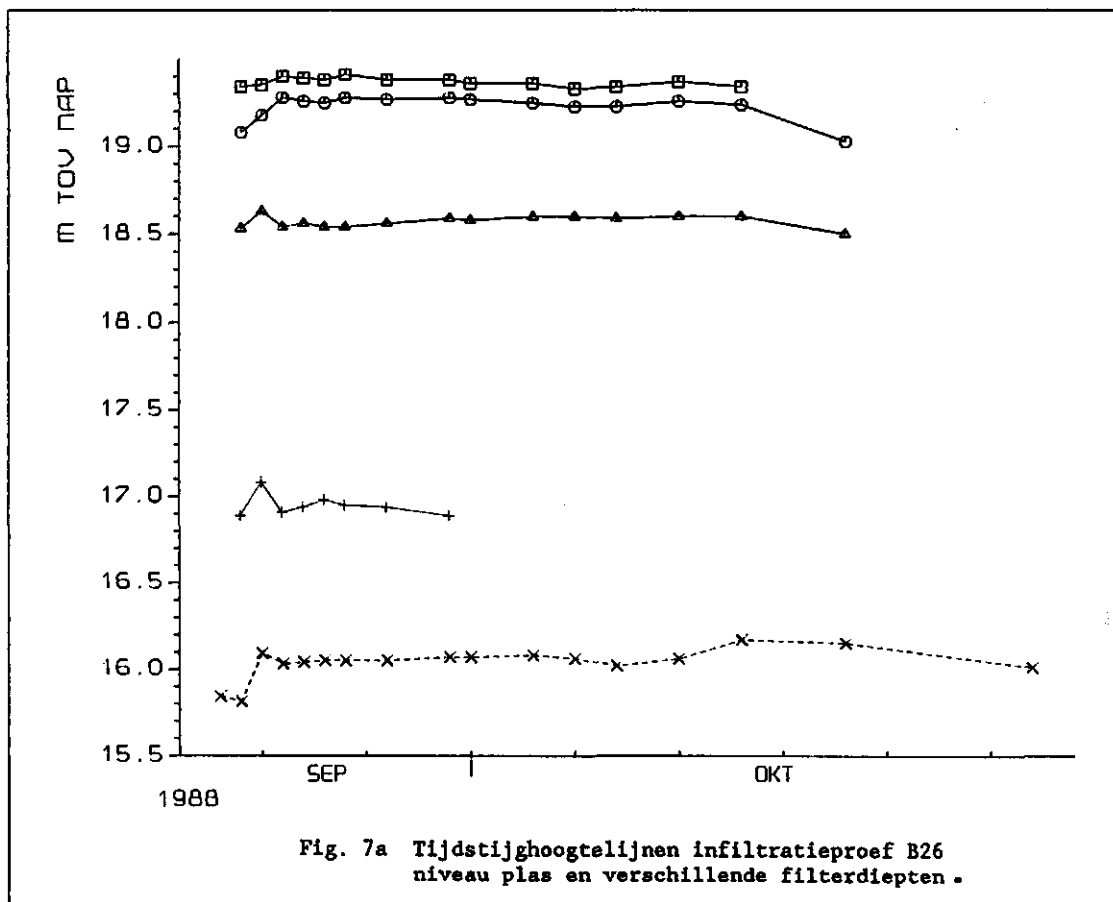
Fig. 5 Neerslag en verdamping.



Infiltratie debiet
(mm.dag⁻¹)

Fig. 6 Verloop infiltratiedebiet B26.





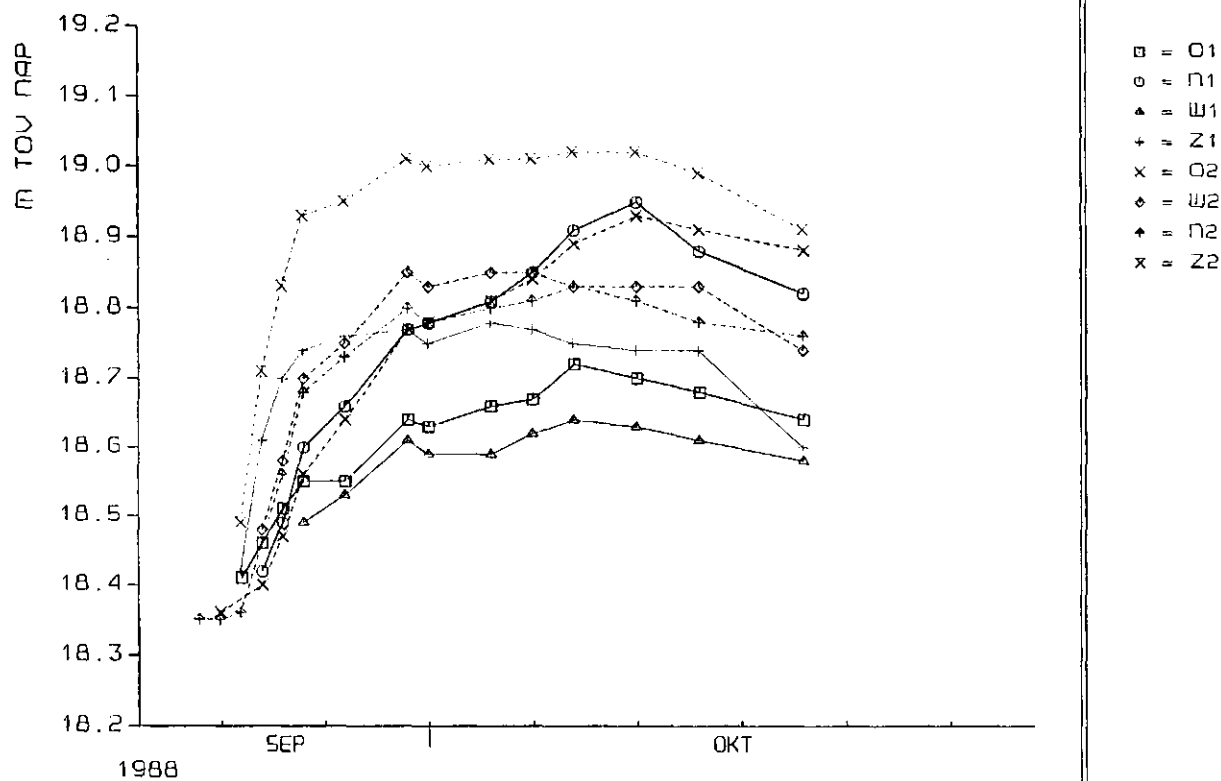


Fig. 7c Tijdstijghoogtelijnen infiltratieproef B26
filterdiepte 90 - 100 cm-mv.

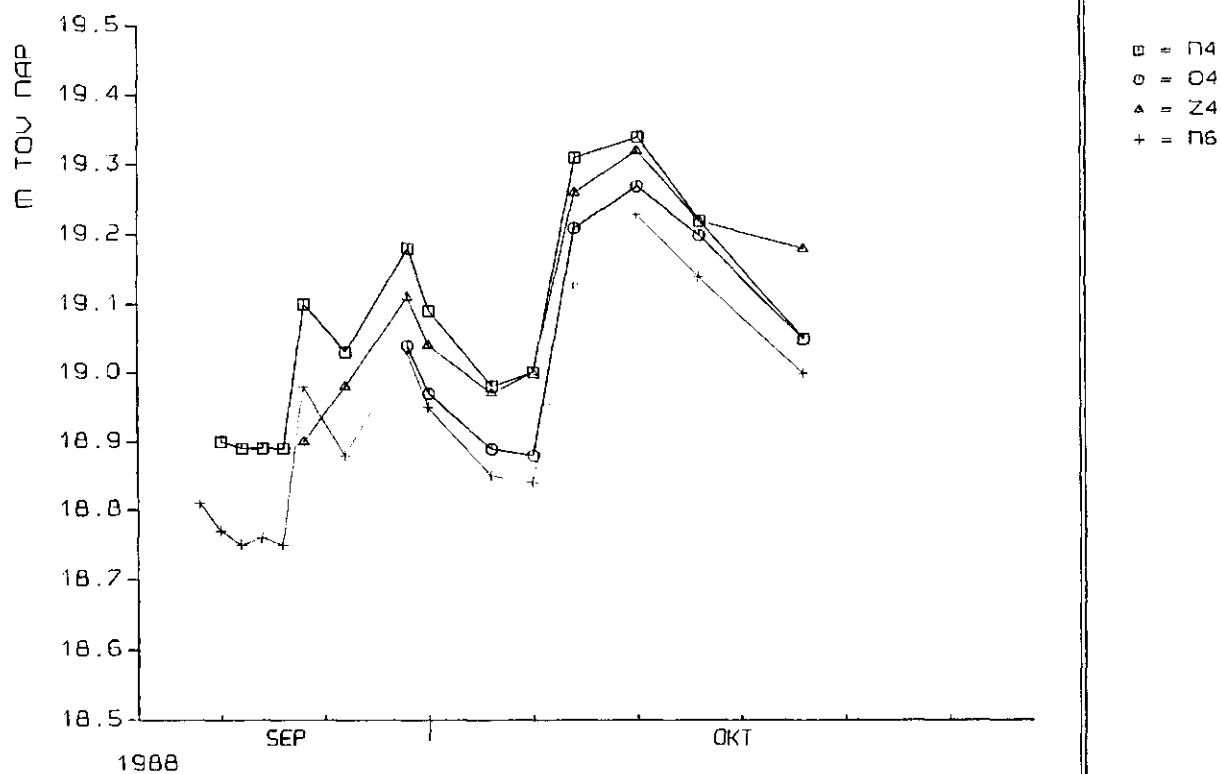


Fig. 7d Tijdstijghoogtelijnen infiltratieproef B26
filterdiepte 40 - 50 cm-mv.

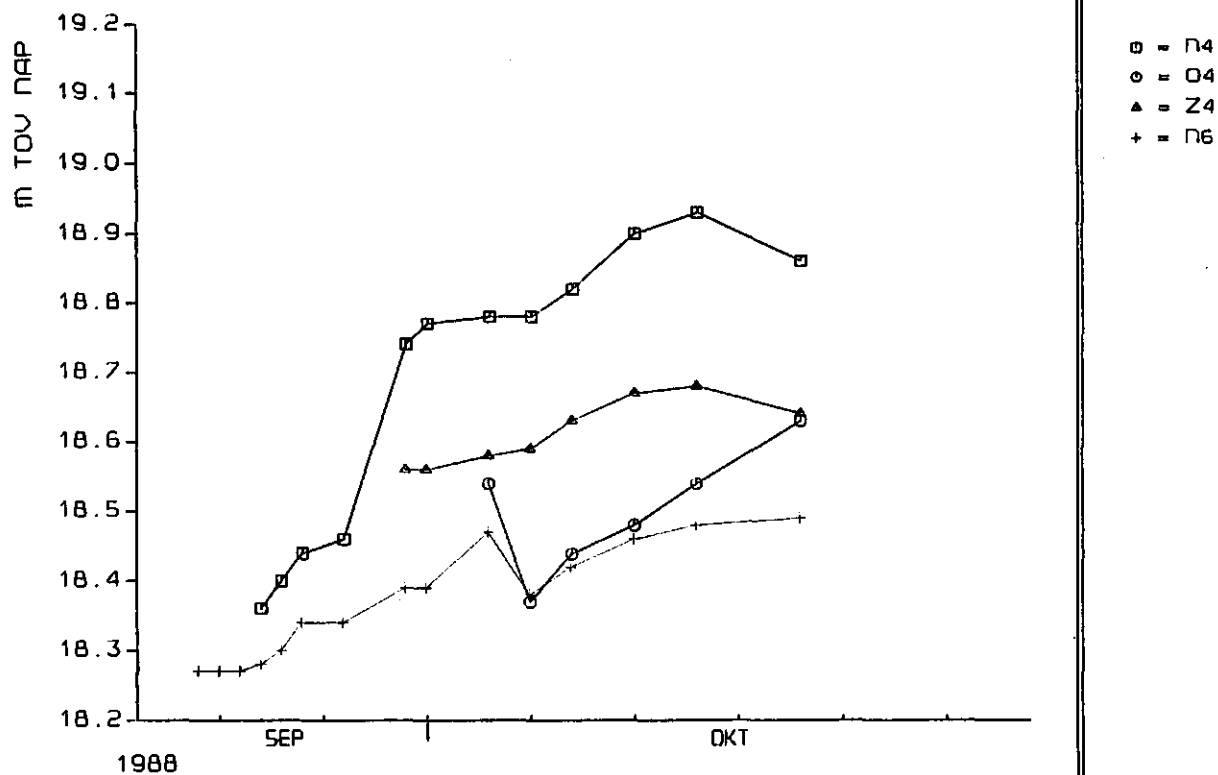


Fig. 7e Tijdstijghoogtelijnen infiltratieproef B26
filterdiepte 90 - 100 cm-mv.

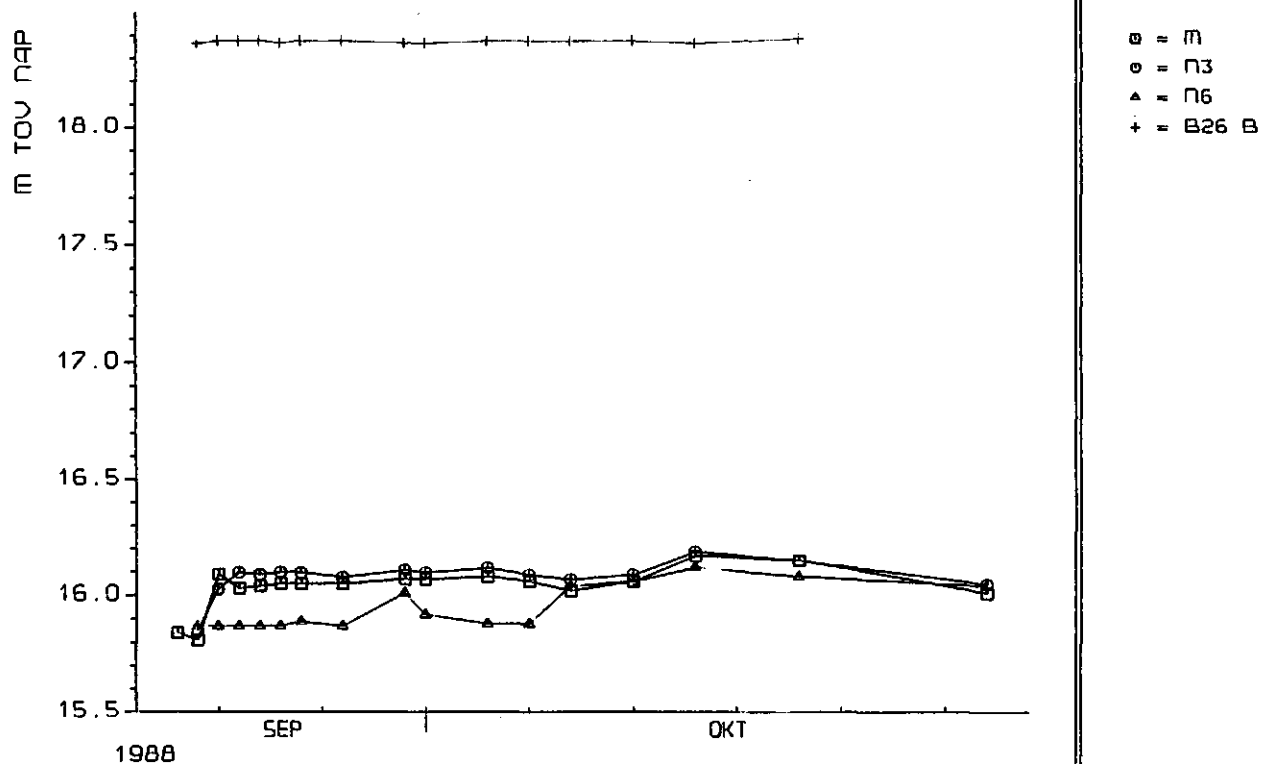
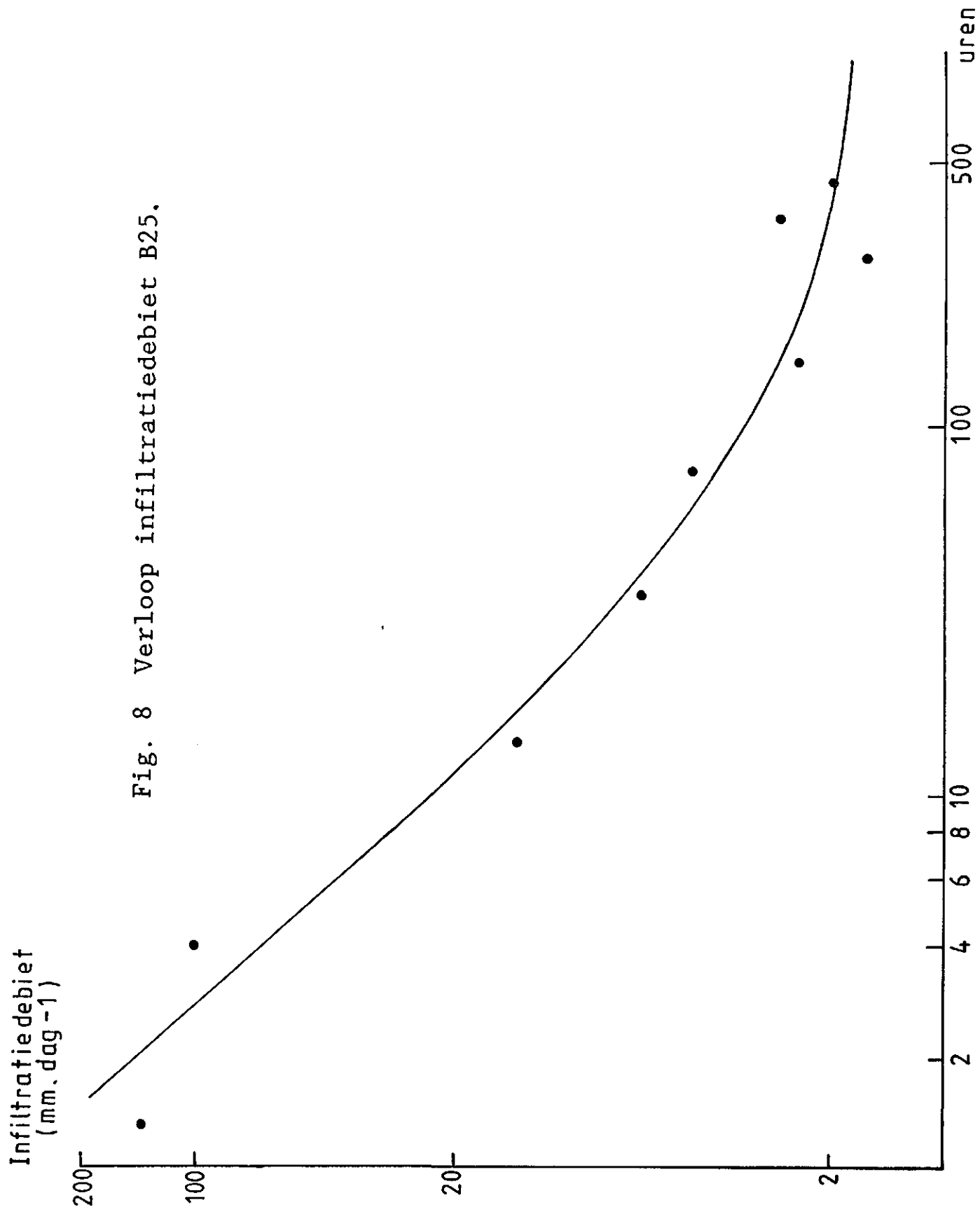


Fig. 7f Tijdstijghoogtelijnen infiltratieproef B26
filterdiepte 350 - 380 cm-mv, B26B 115 cm-mv.

Fig. 8 Verloop infiltratiedebiet B25.



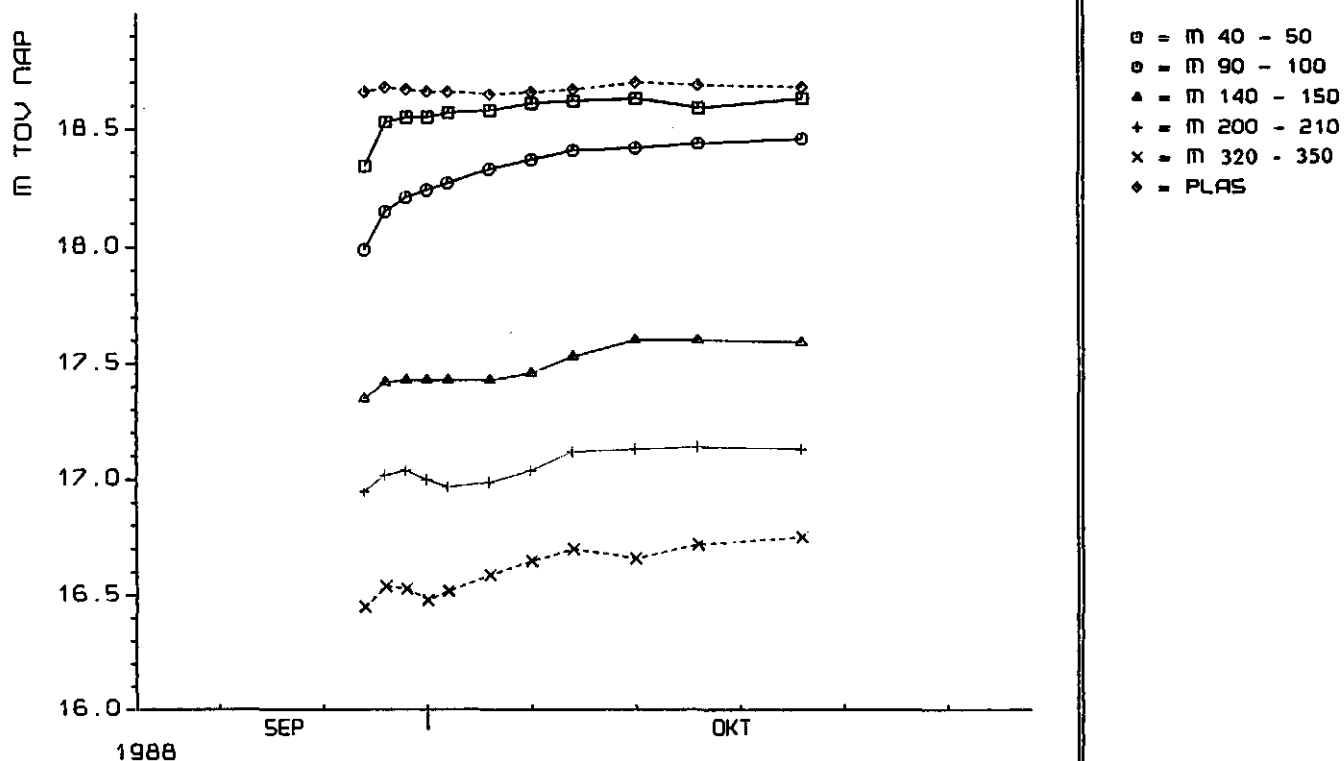


Fig. 9a Tijdstijghoogtelijnen infiltratieproef B25 niveau plas en verschillende filterdiepten.

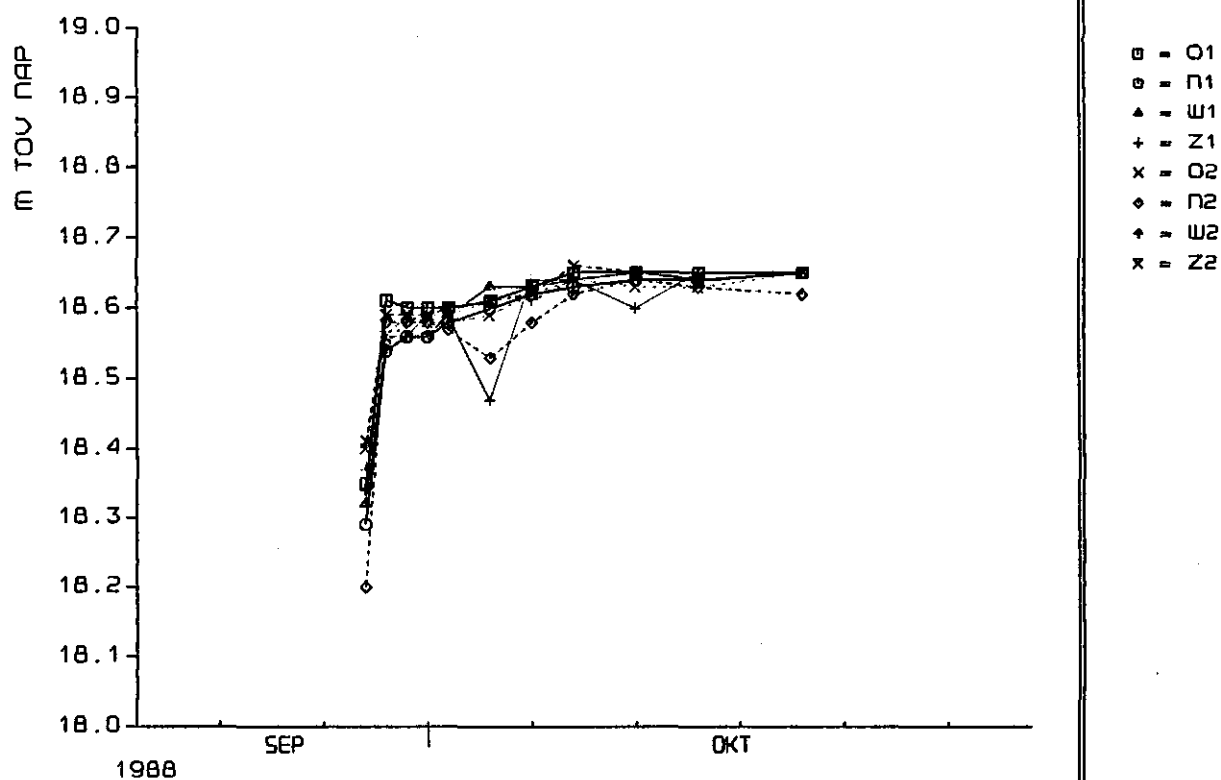


Fig. 9b Tijdstijghoogtelijnen infiltratieproef B25. filterdiepte 40 - 50 cm-mv.

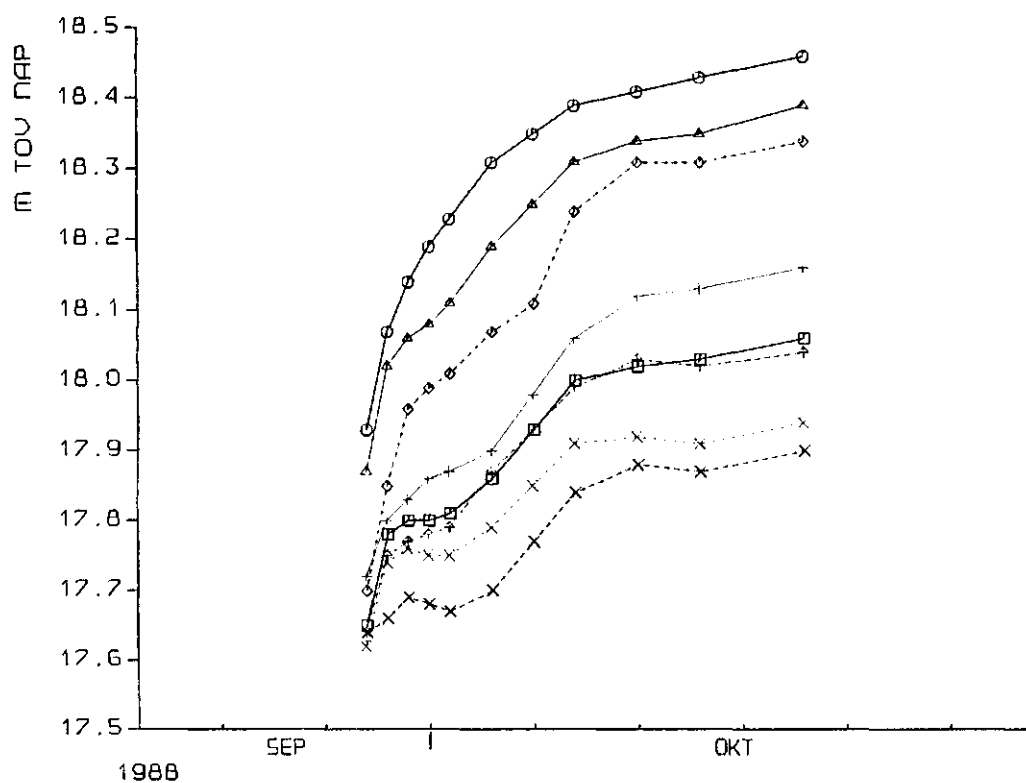


Fig. 9c Tijdstijghoogtelijnen infiltratieproef B25
filterdiepte 90 - 100 cm-mv.

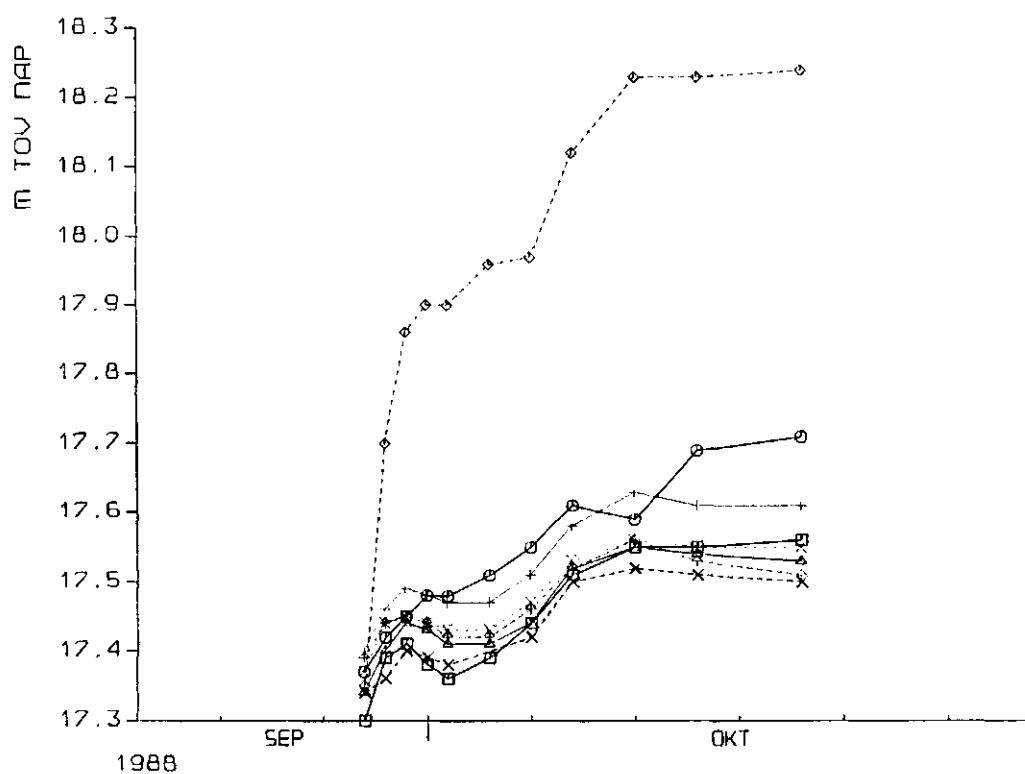


Fig. 9d Tijdstijghoogtelijnen infiltratieproef B25
filterdiepte 140 - 150 cm-mv.

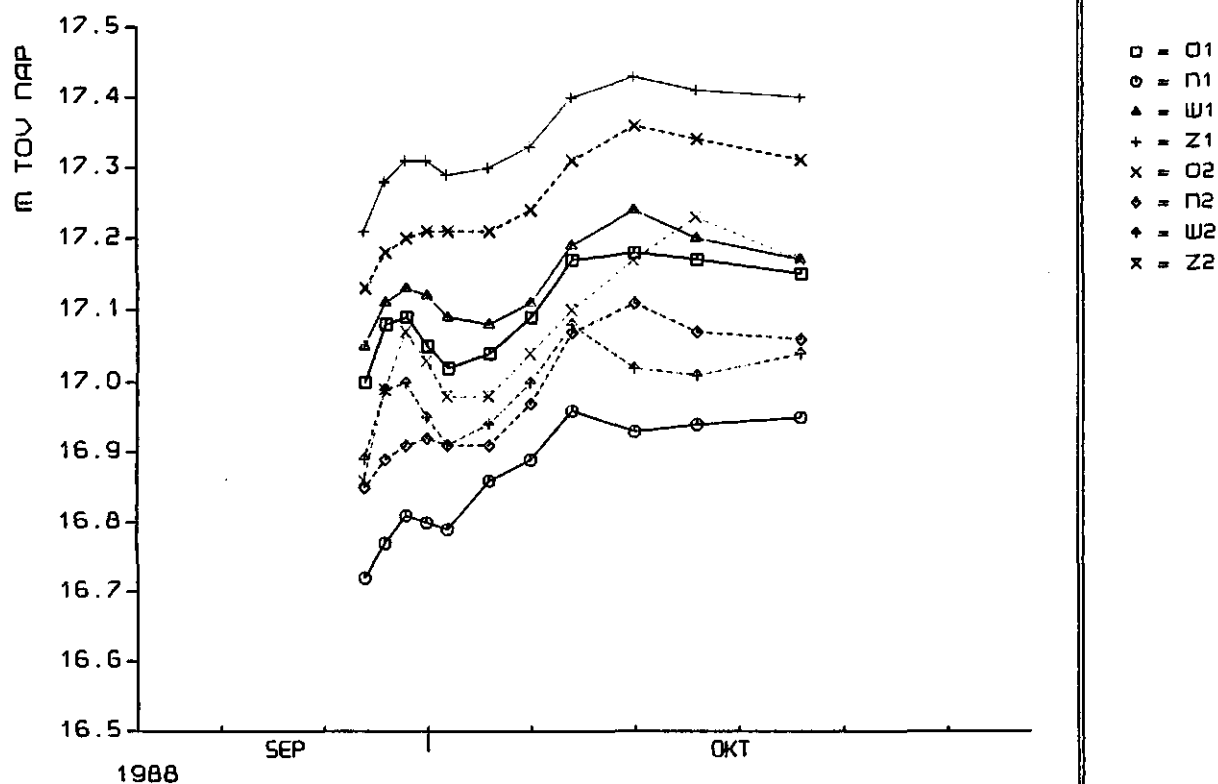


Fig. 9e Tijdstijghoogtelijnen infiltratieproef B25 filterdiepte 200 - 210 cm-mv.

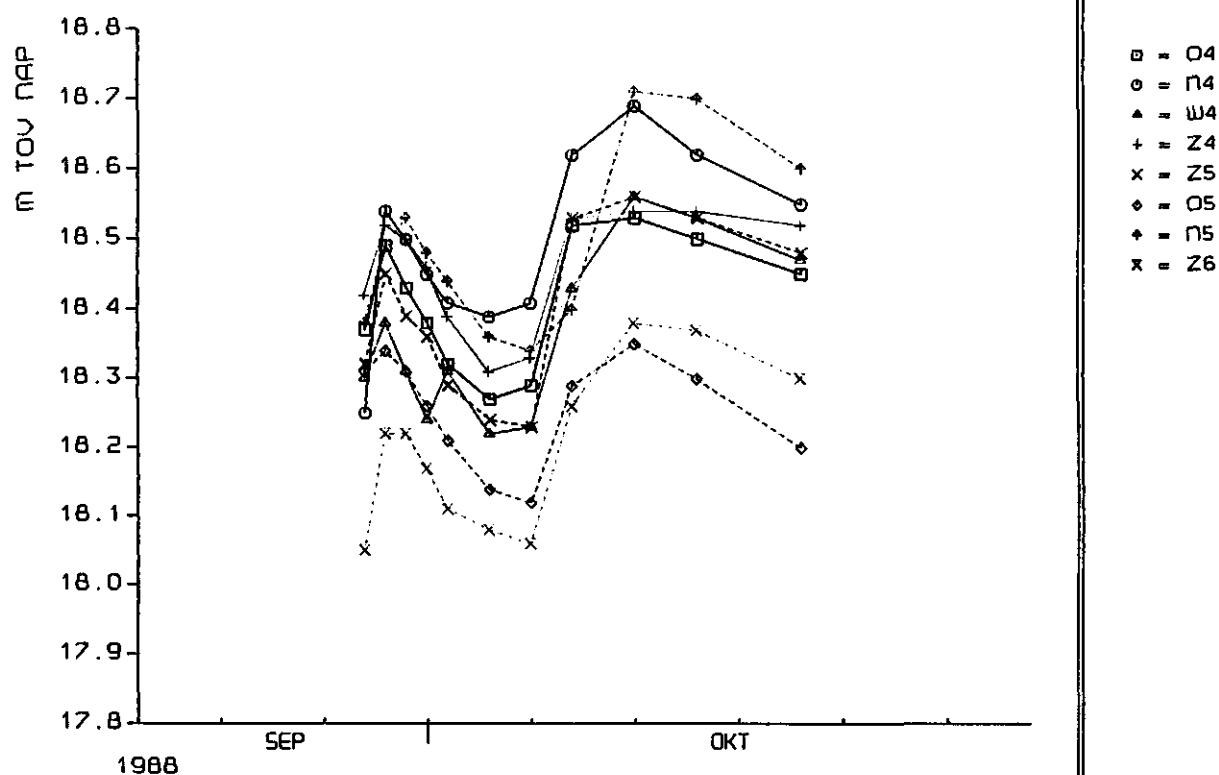


Fig. 9f Tijdstijghoogtelijnen infiltratieproef B25 filterdiepte 40 - 50 cm-mv.

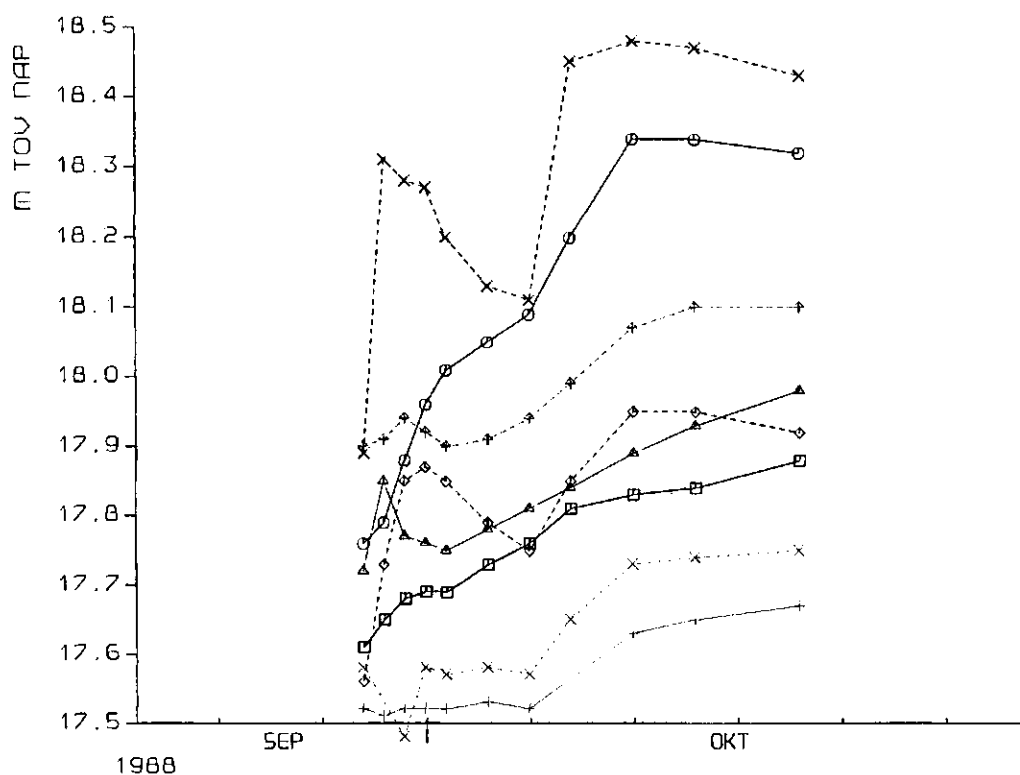


Fig. 9g Tijdstijghoogtelijnen infiltratieproef B25 filterdiepte 90 - 100 cm-mv.

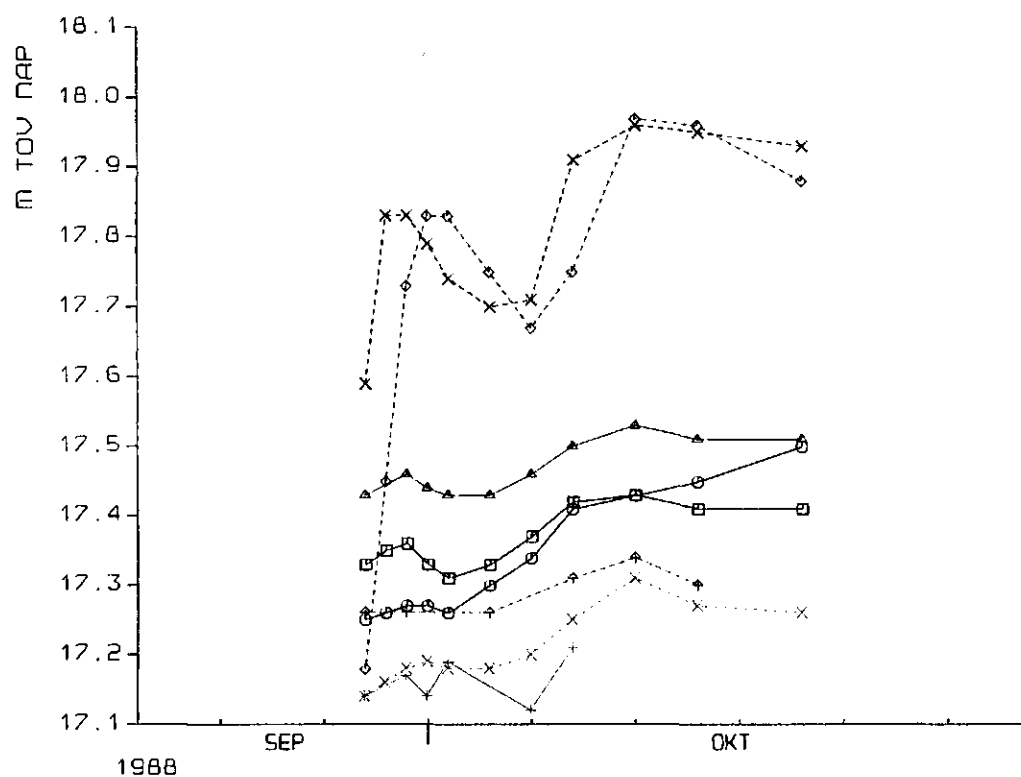


Fig. 9h Tijdstijghoogtelijnen infiltratieproef B25 filterdiepte 140 - 150 cm-mv.

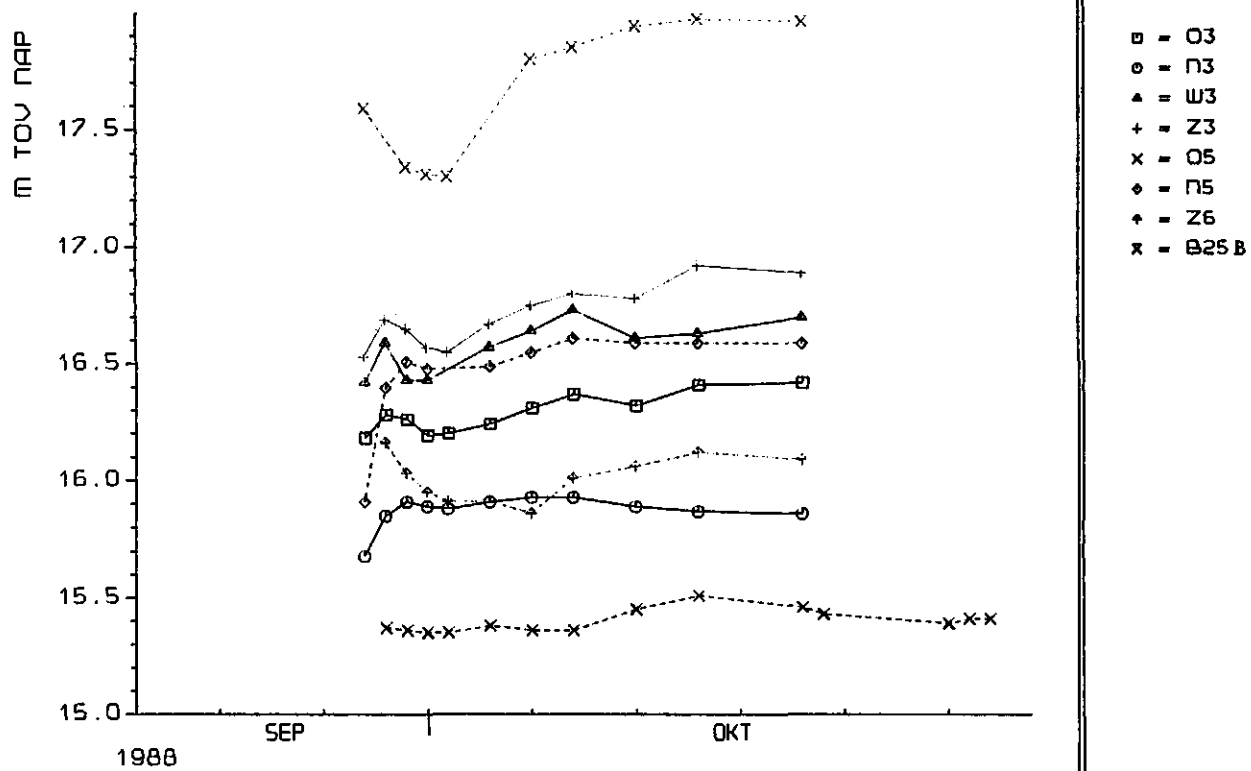


Fig. 91 Tijdstijghoogtelijnen infiltratieproef B25
filterdiepte 320 - 350 cm-mv, B25B 144 cm-mv.

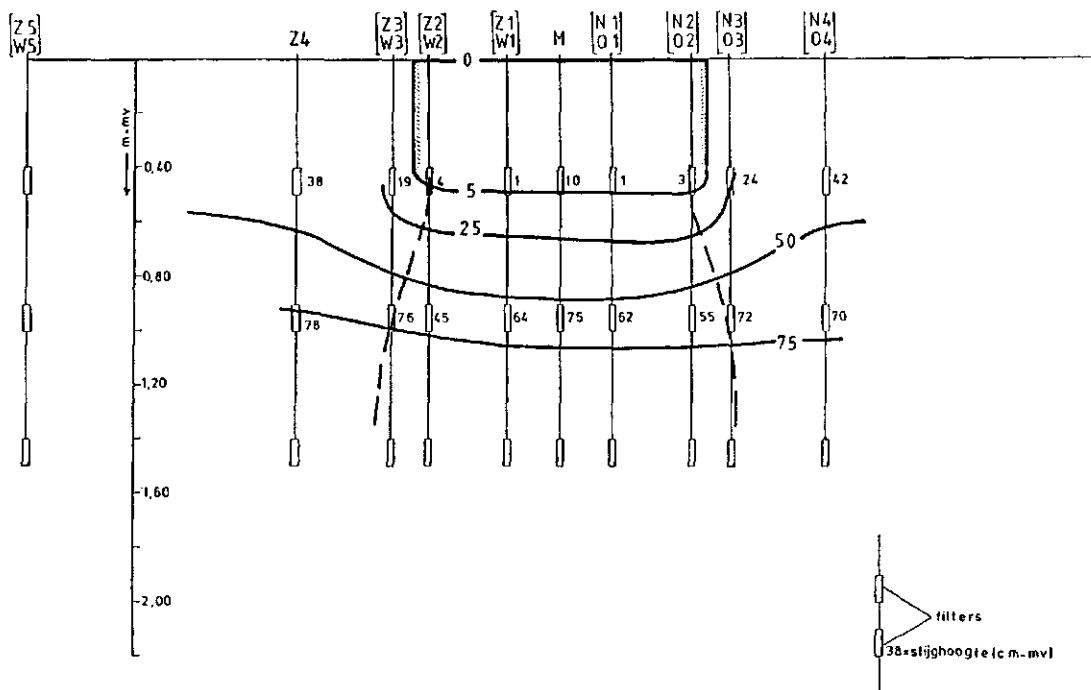


Fig. 10 Stromingsbeeld infiltratieproef B26.

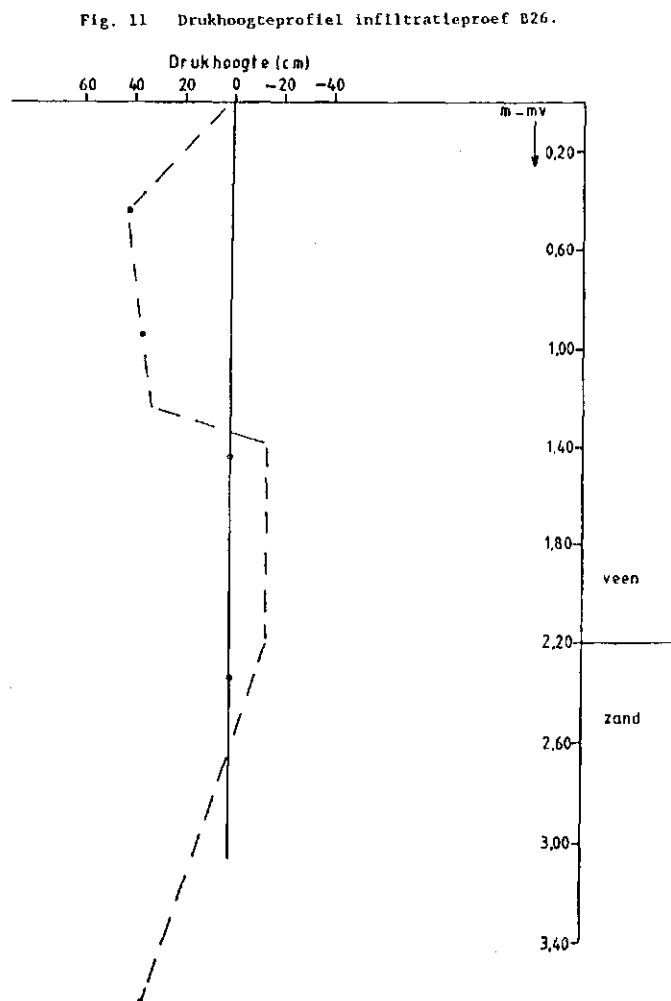


Fig. 11 Drukhoogteprofiel infiltratieproef B26.

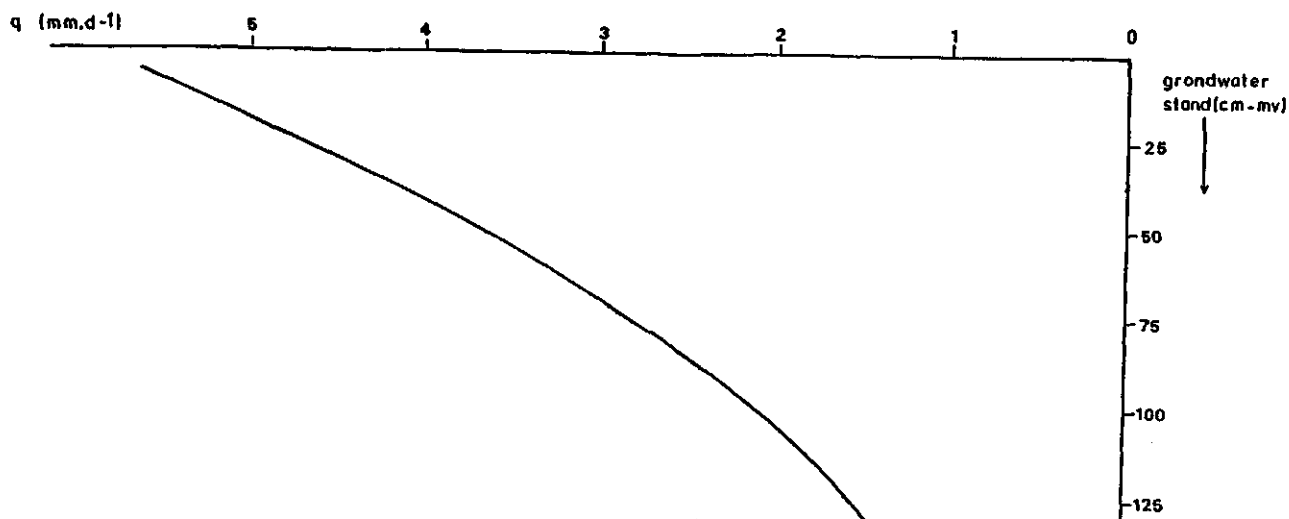


Fig. 12 $q(h)$ -relatie infiltratieproef B26.

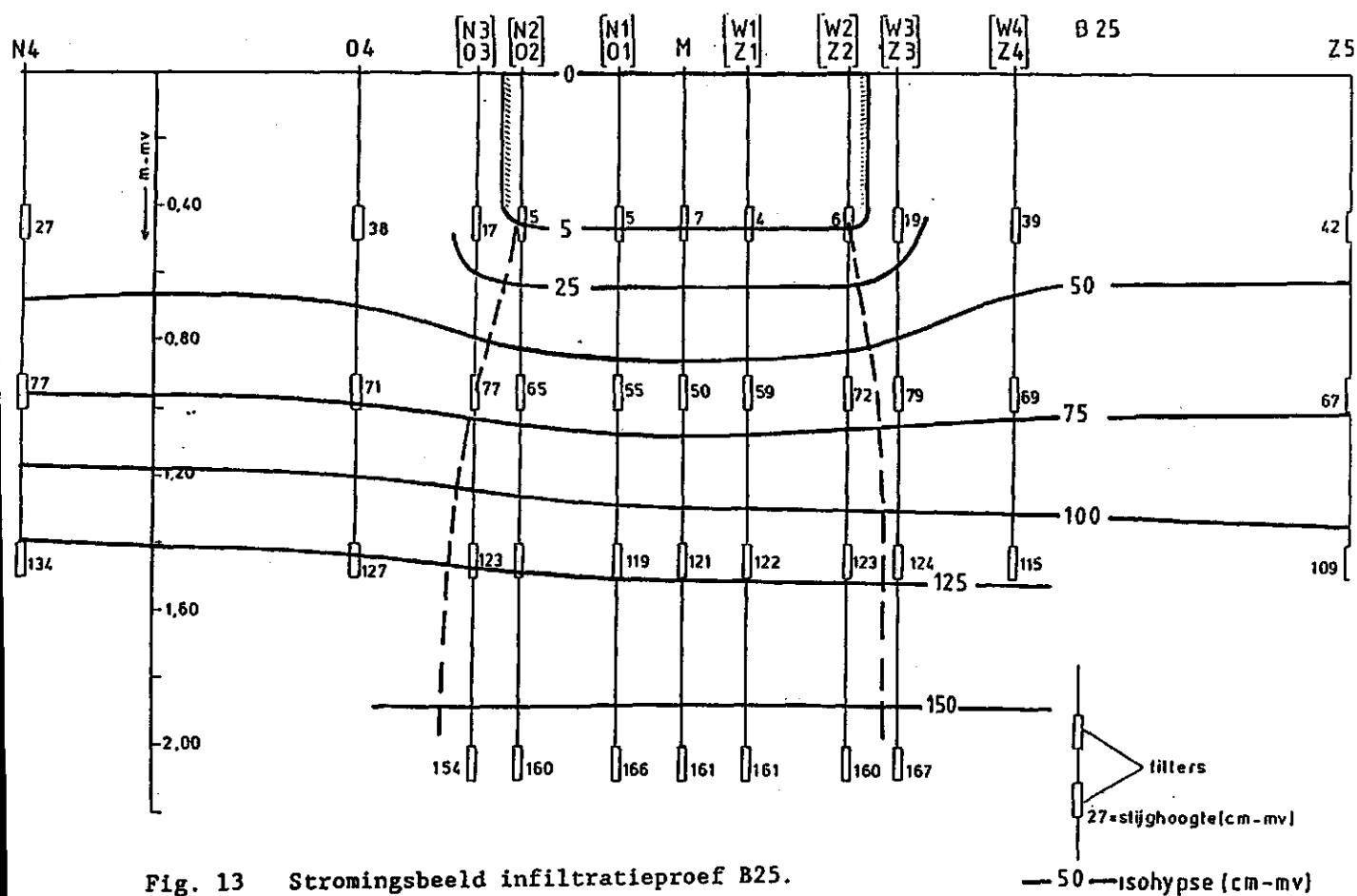


Fig. 13 Stromingsbeeld infiltratieproef B25.

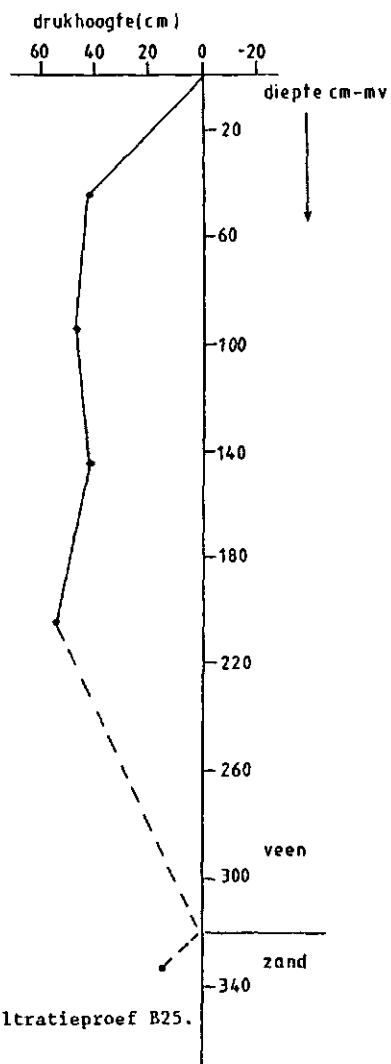


Fig. 14 Drukhoogteprofiel infiltratieproef B25.

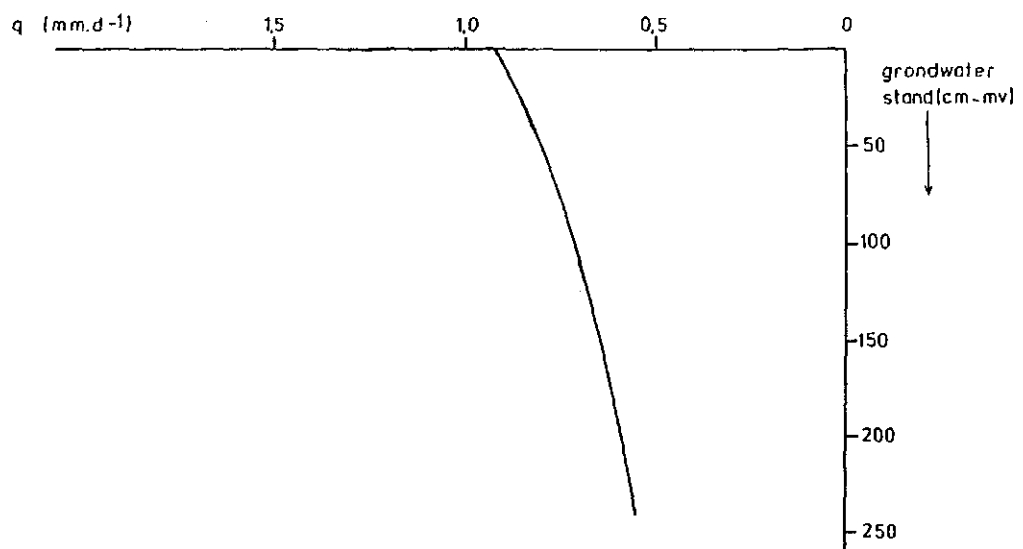


Fig. 15 $q(h)$ -relatie infiltratieproef B25.

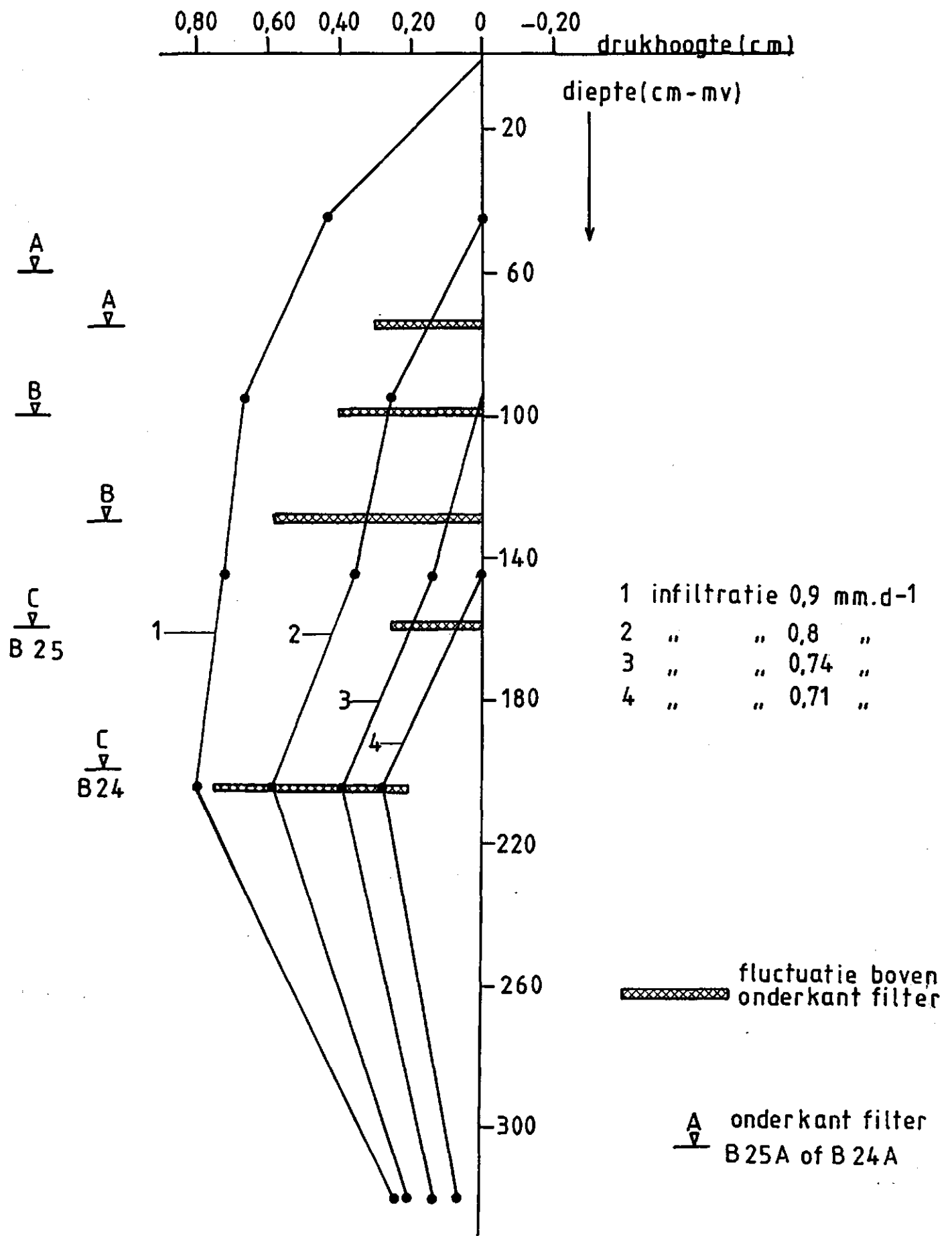


Fig. 16 Berekende drukhoogteprofielen infiltratieproef B25

Verlengde

Splitting

Fig. 17 Detailkaart waterlopen Oosterbos.

14.6

veld

bos

17.5

18.0

23.0

1^e stuw

Waterloop oostelijk van de zandweg

18.7

Spoorviadukt

veld

20

- + Drempel
- Stuw
- Leiding

Waterloop zuidwestzijde Oosterbos

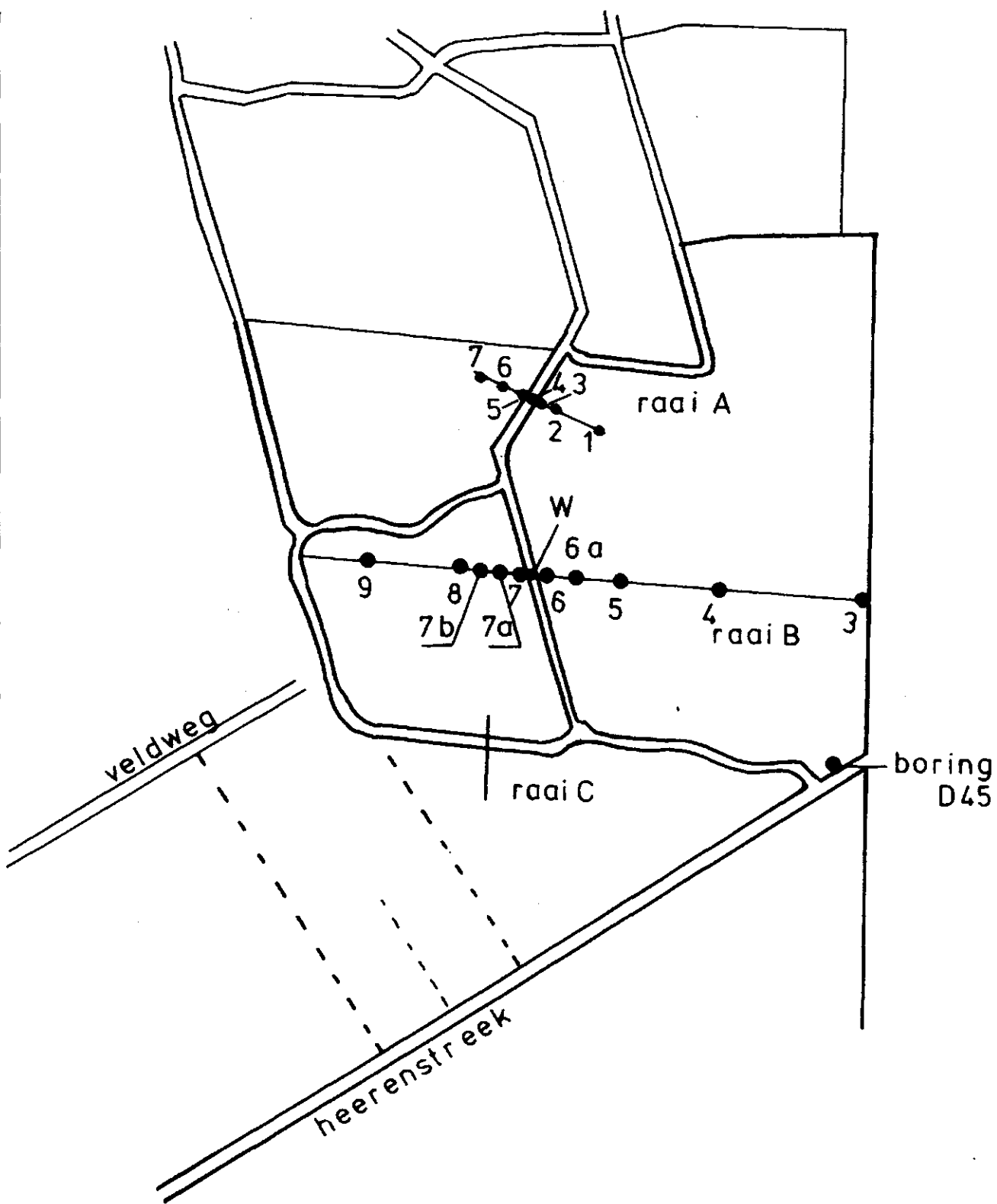


Fig. 18 Lokatiekaart peilbuizen Oosterbos.

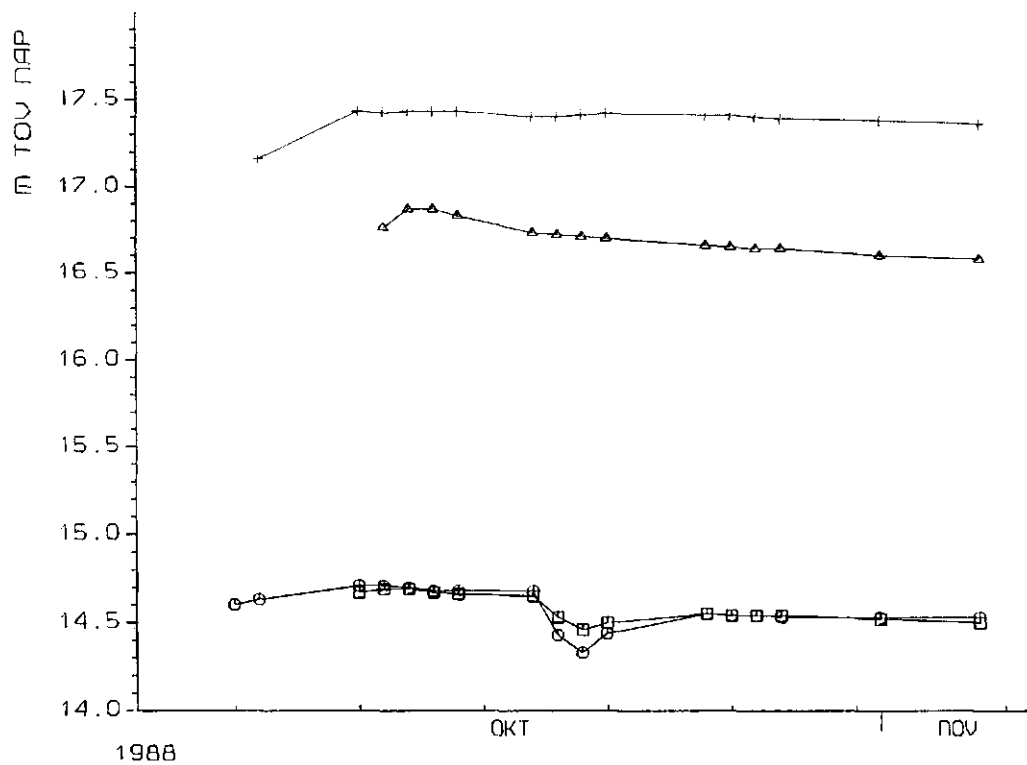


Fig. 19a Tjdstijghoogtelijnen raai B.

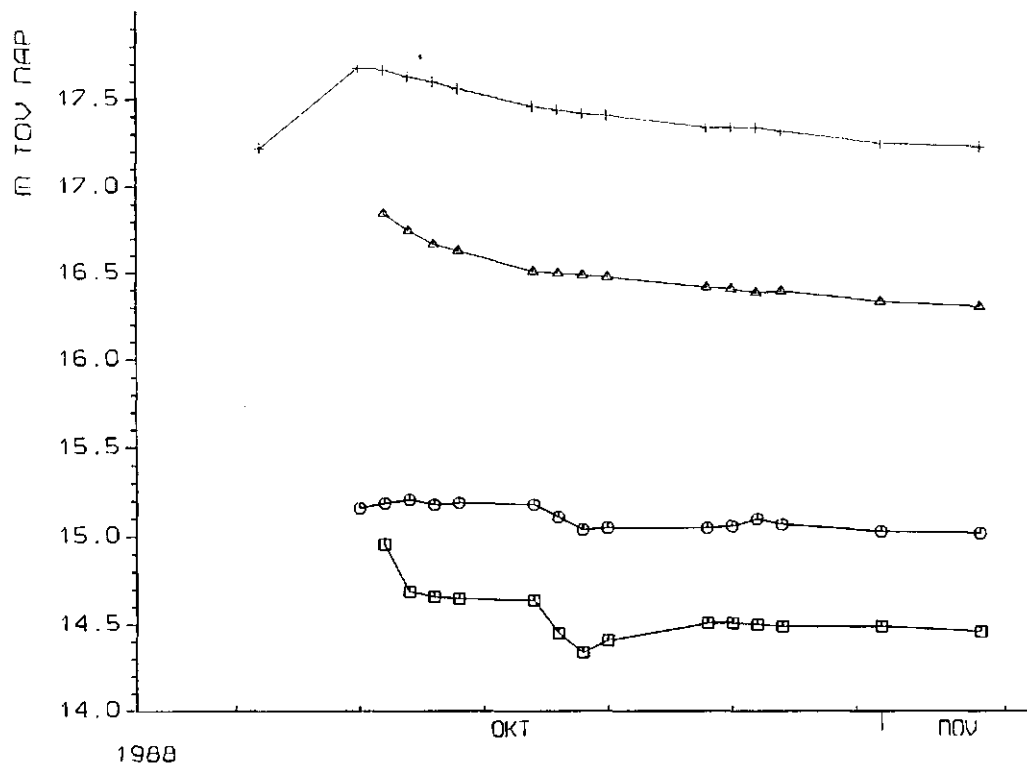


Fig. 19b Tjdstijghoogtelijnen raai B.

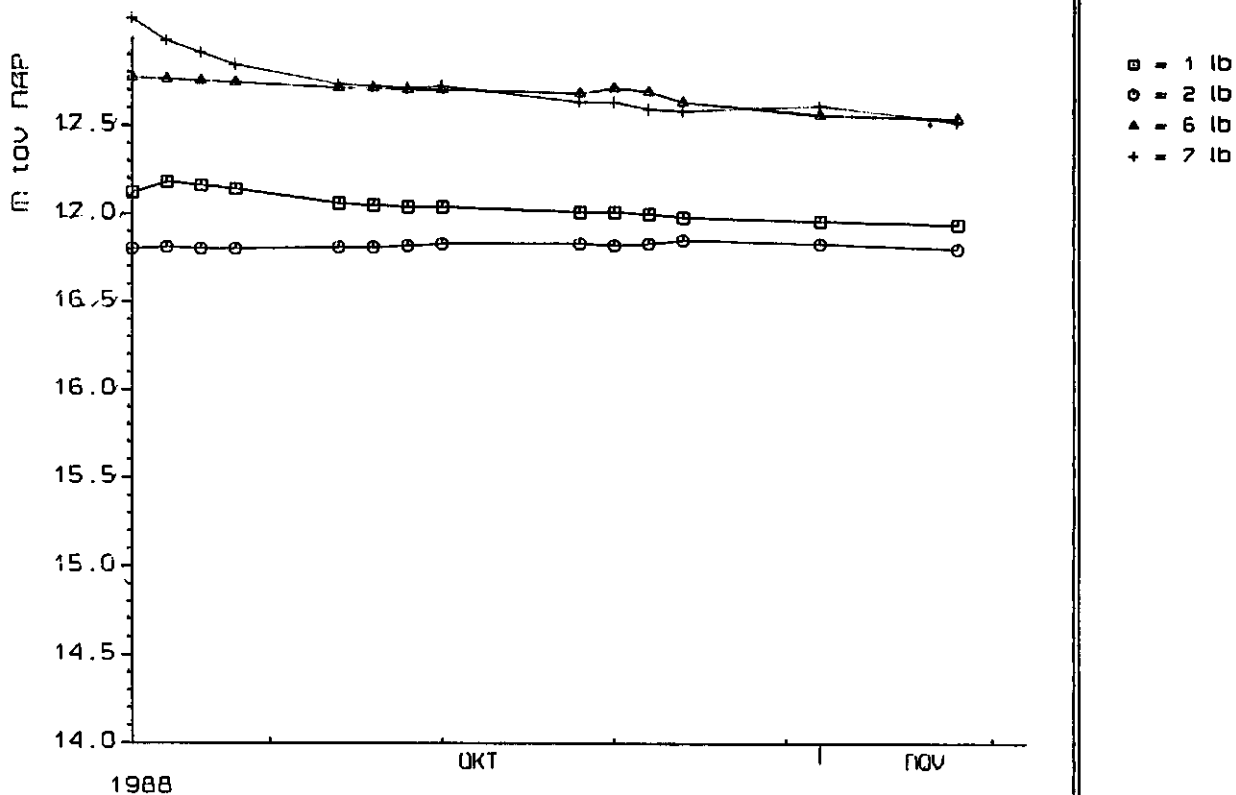


Fig. 20a Tijdstijghoogtelijnen raai A.

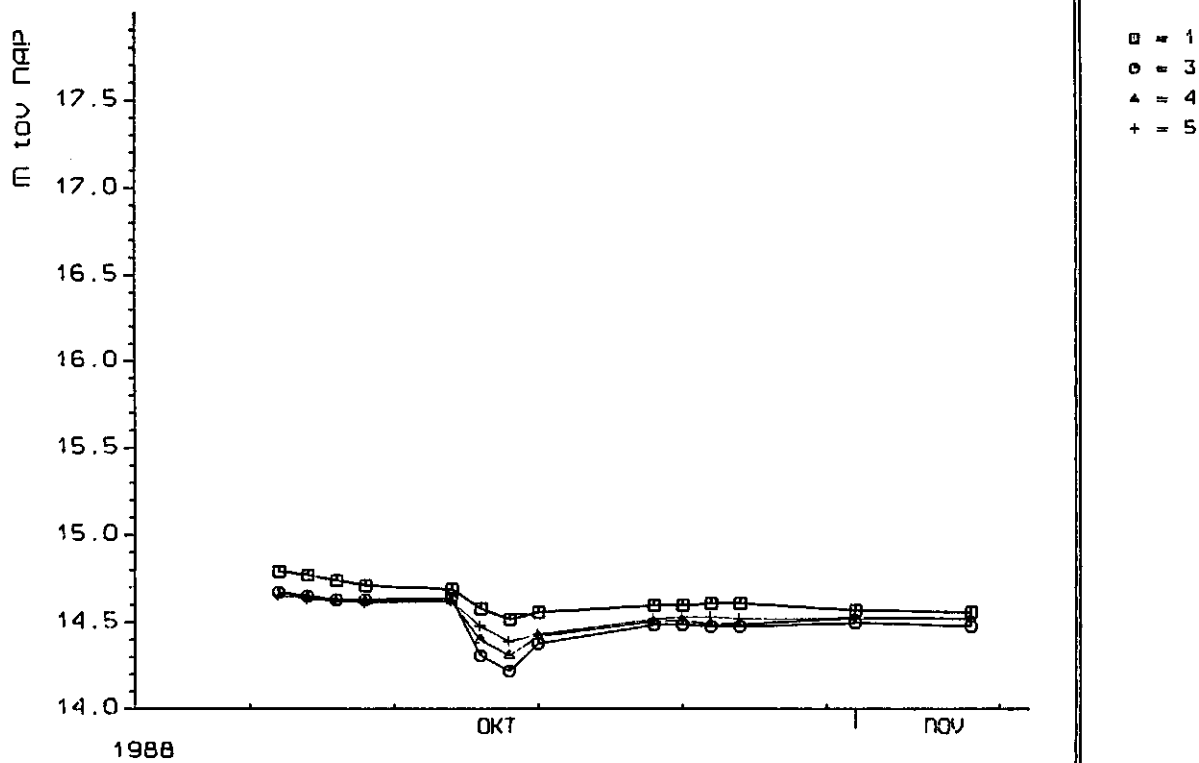
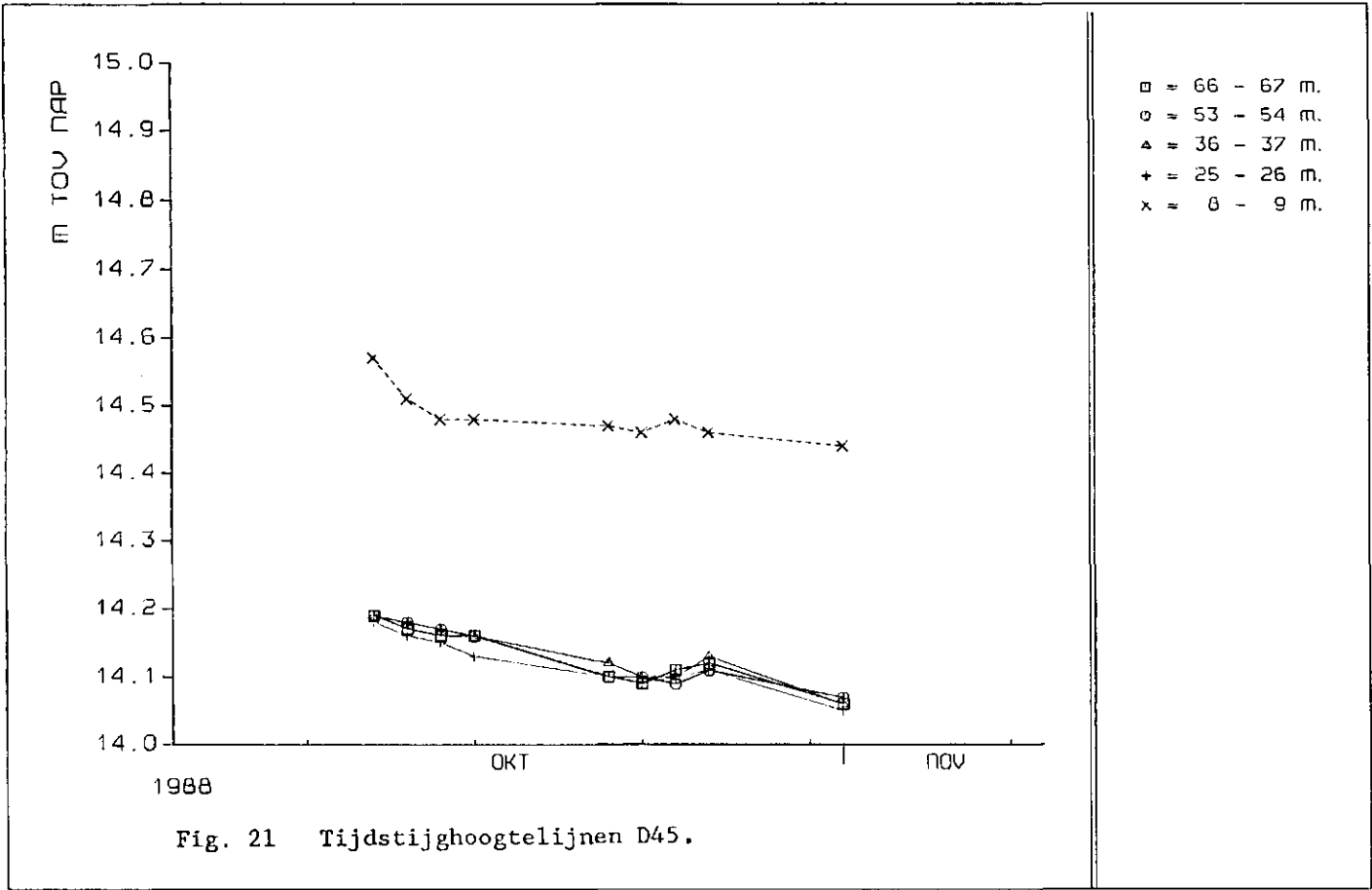
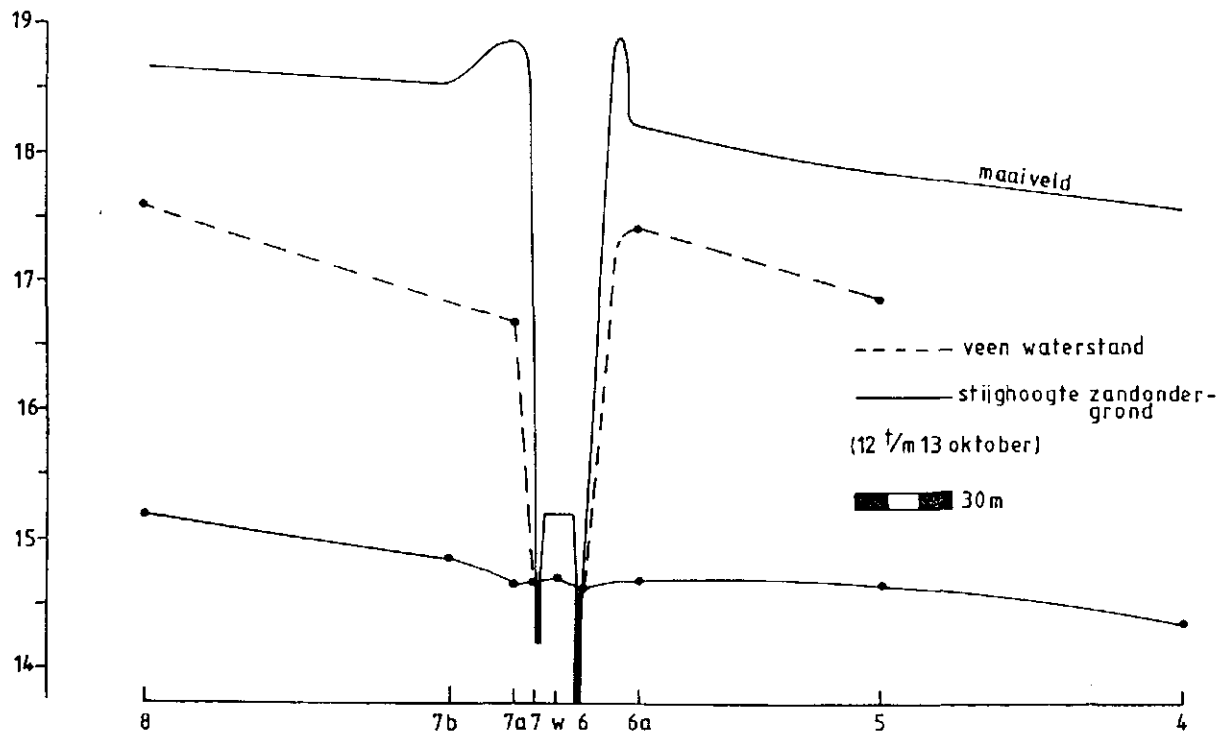


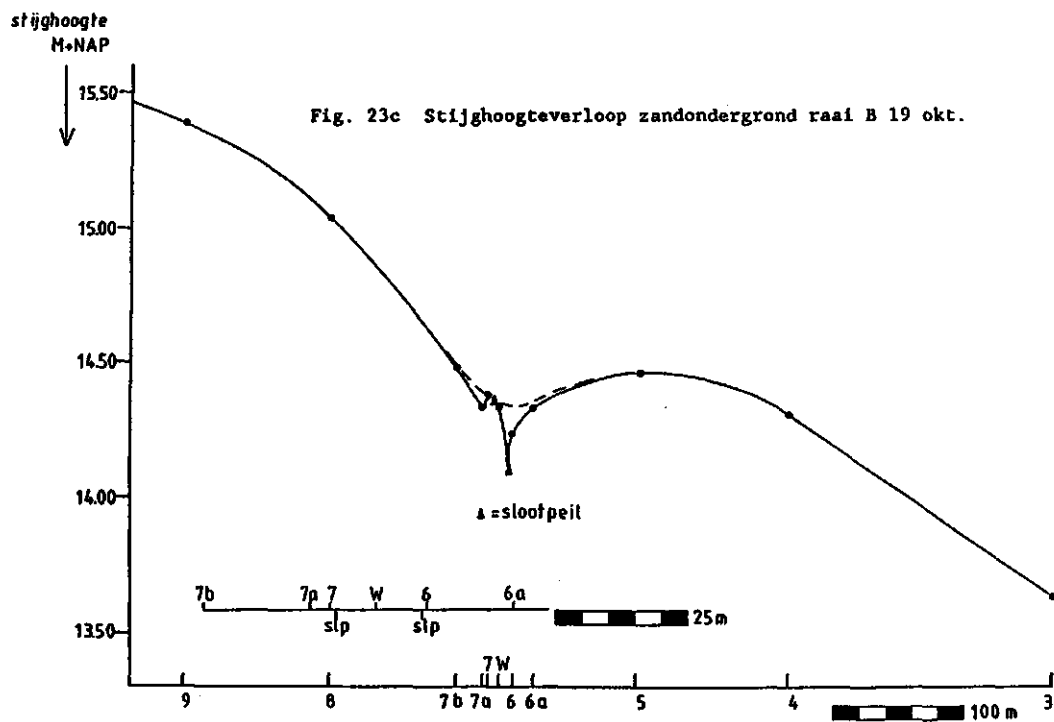
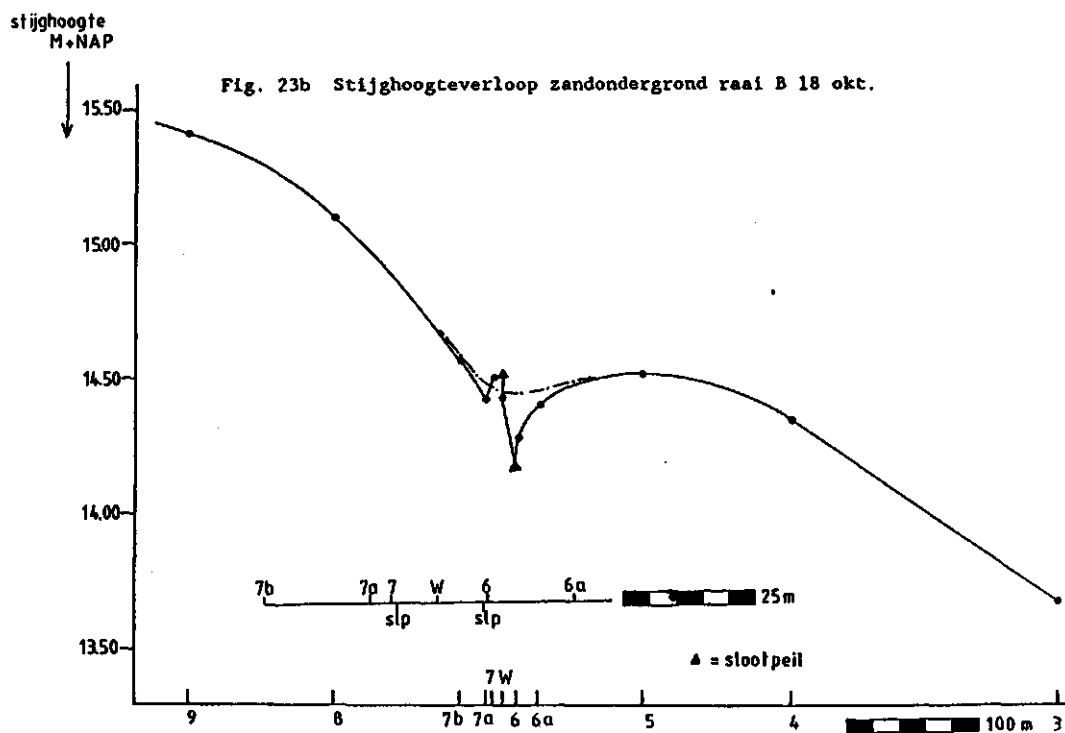
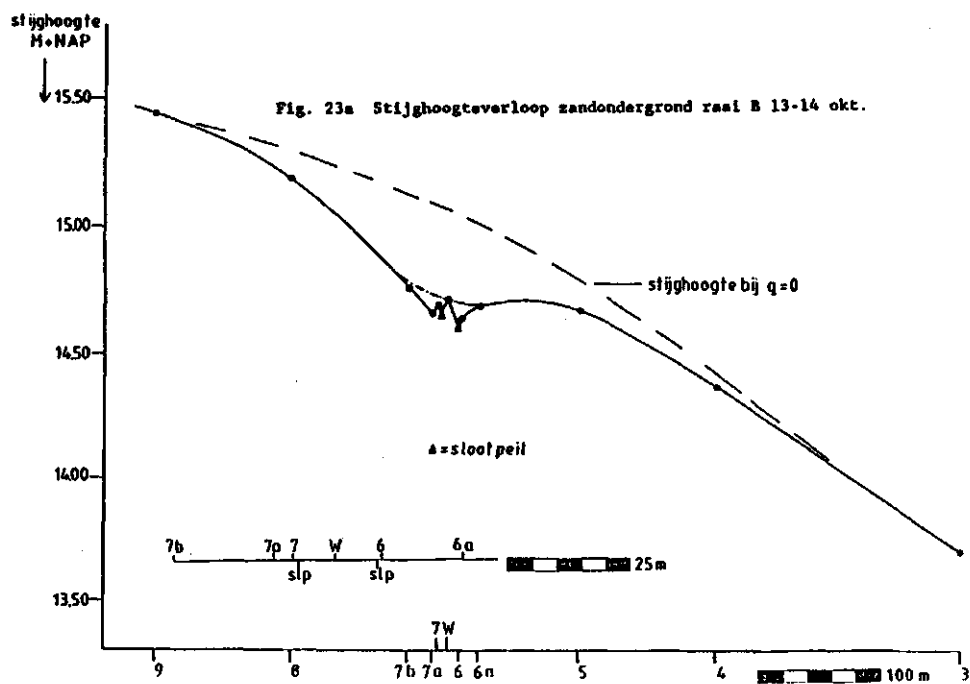
Fig. 20b Tijdstijghoogtelijnen raai A.



m+NAP

Fig22 Profieldoorsnede raai B.





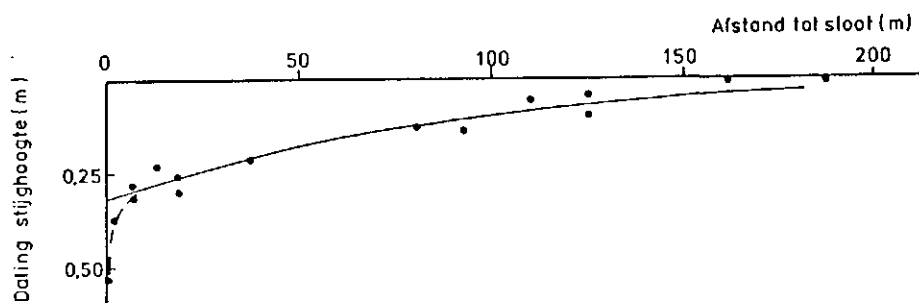
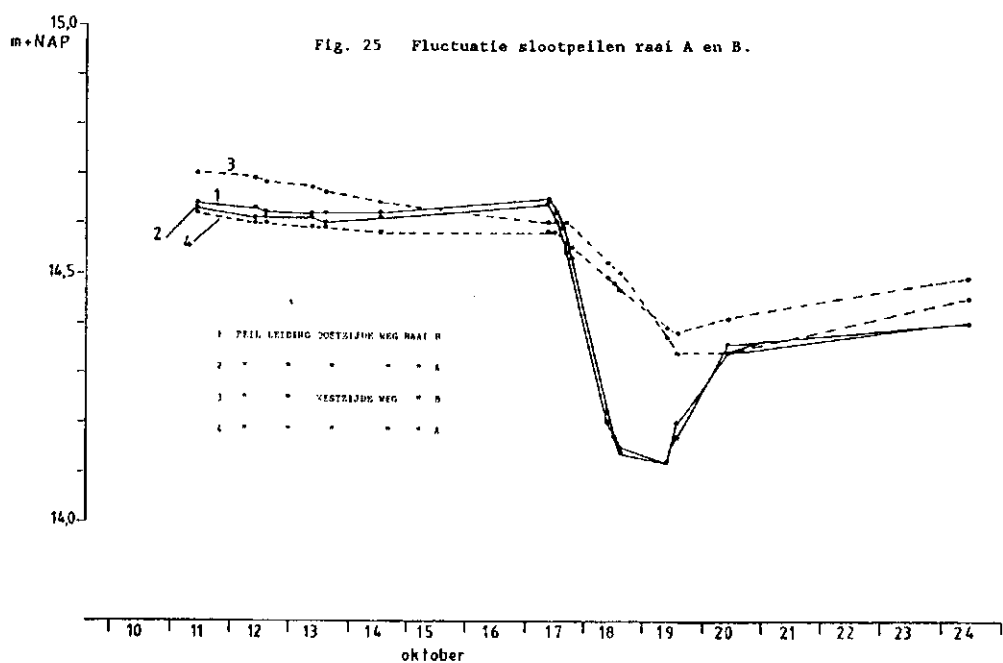
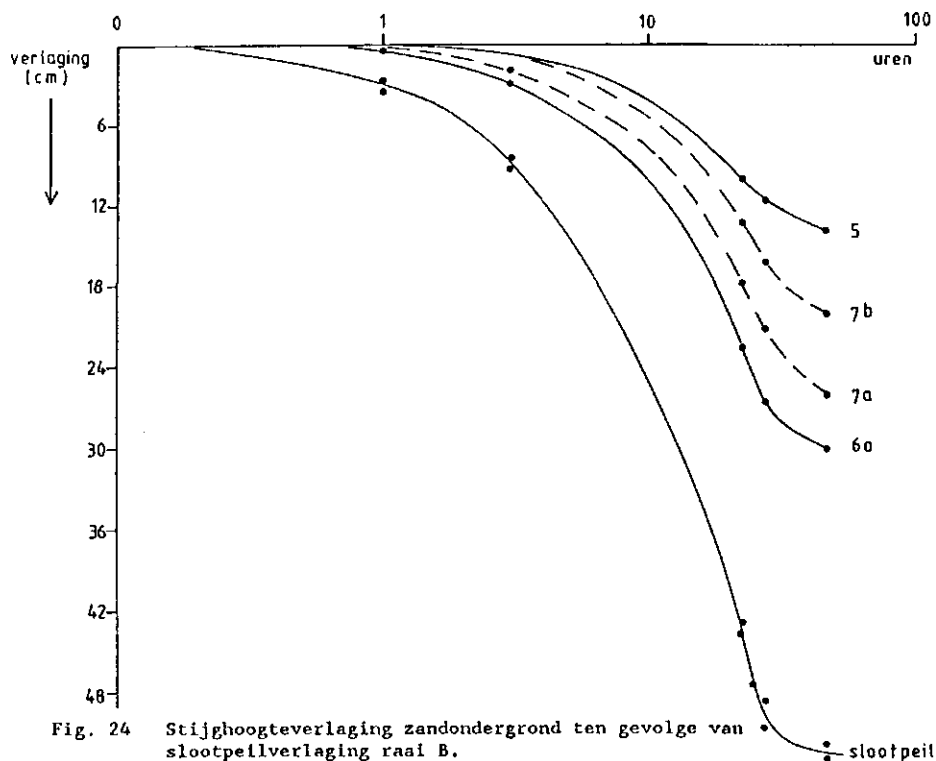


Fig. 27 Stijghoogteverlagingspatroon zandondergrond.

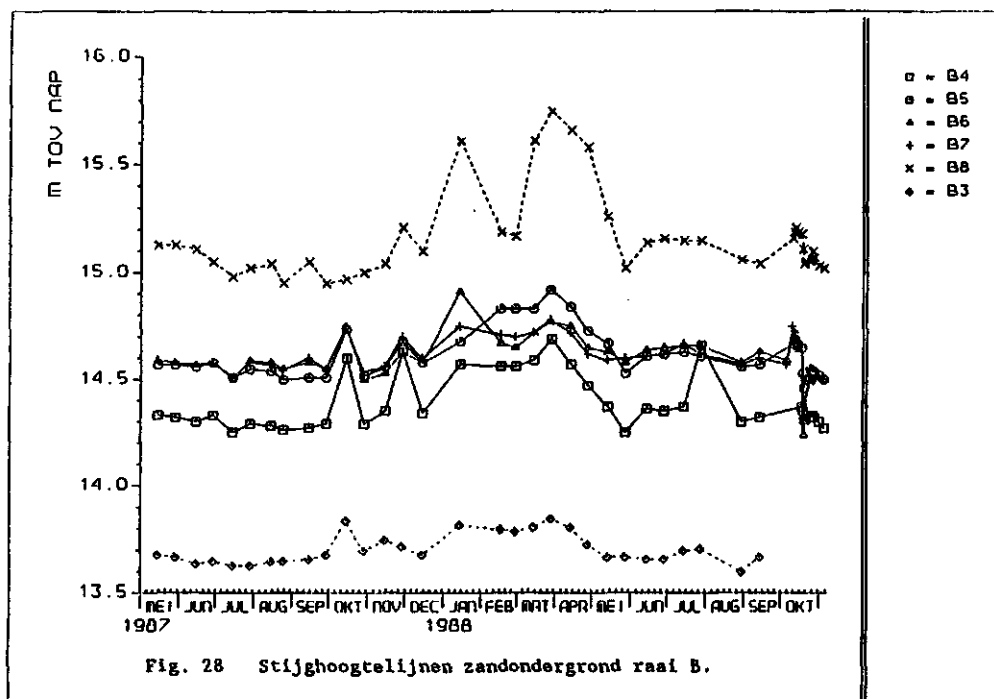
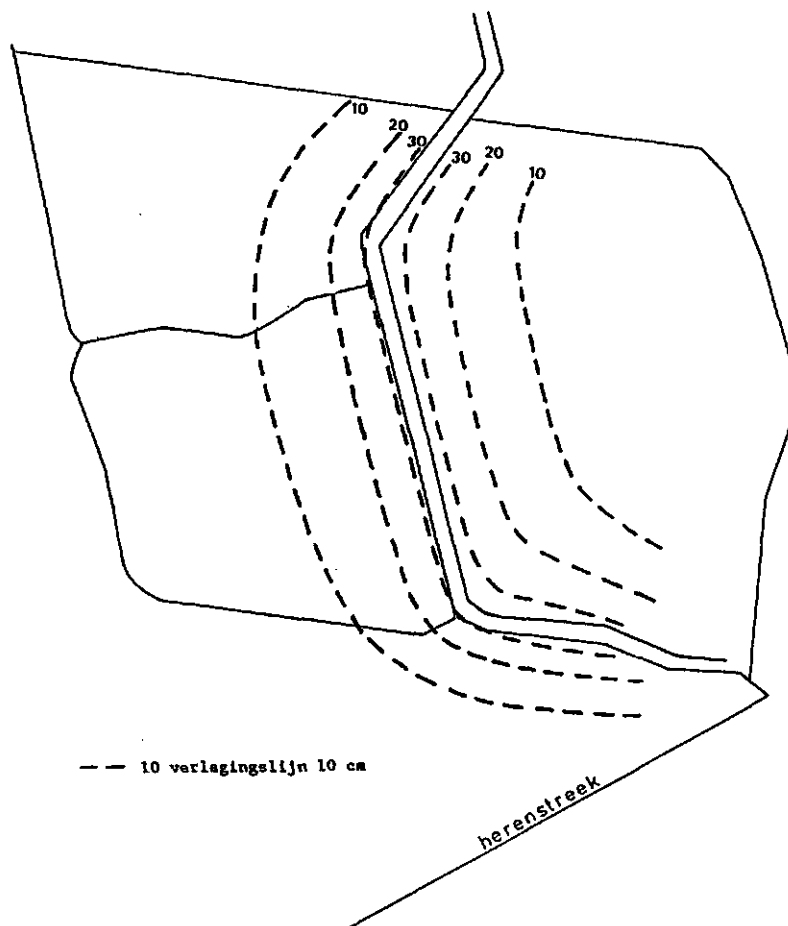


Fig. 29 Profieldoorsnede met filterstelling raai C.

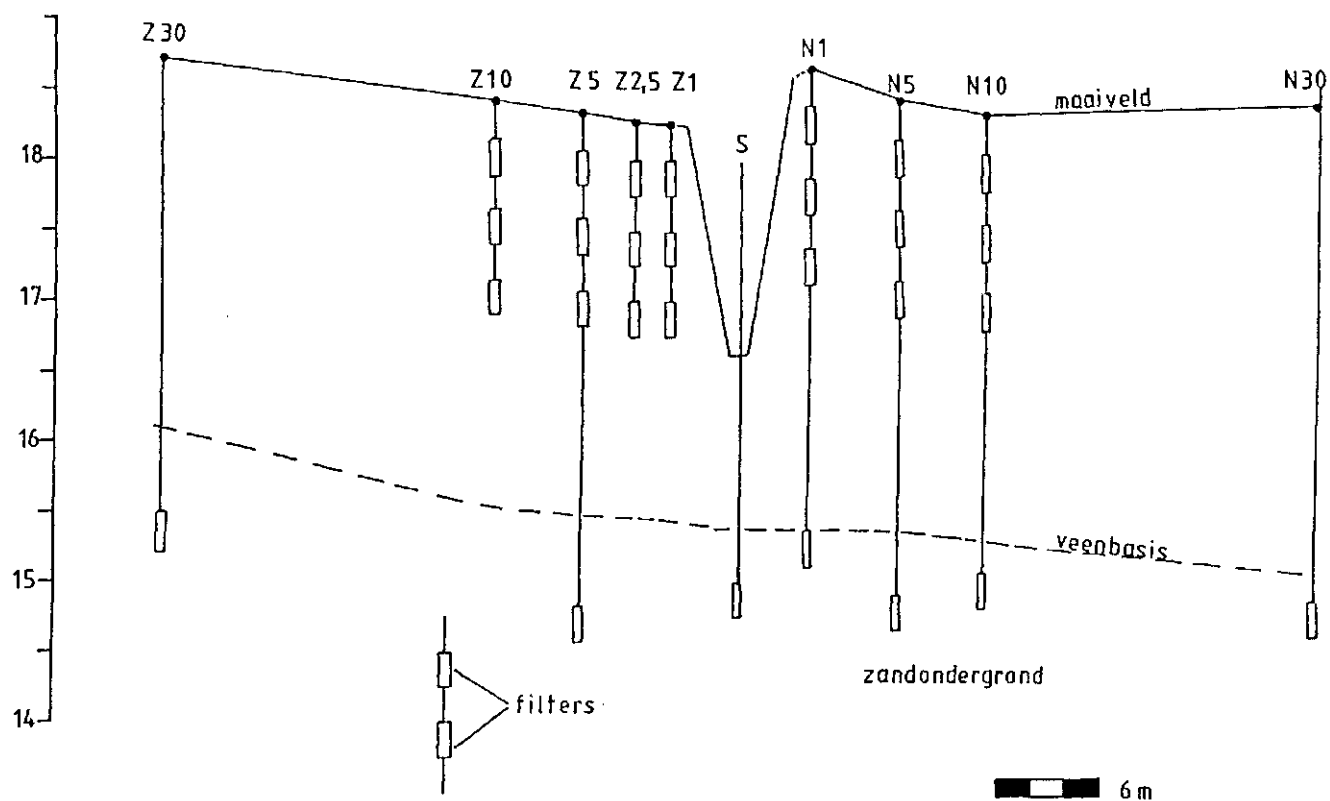
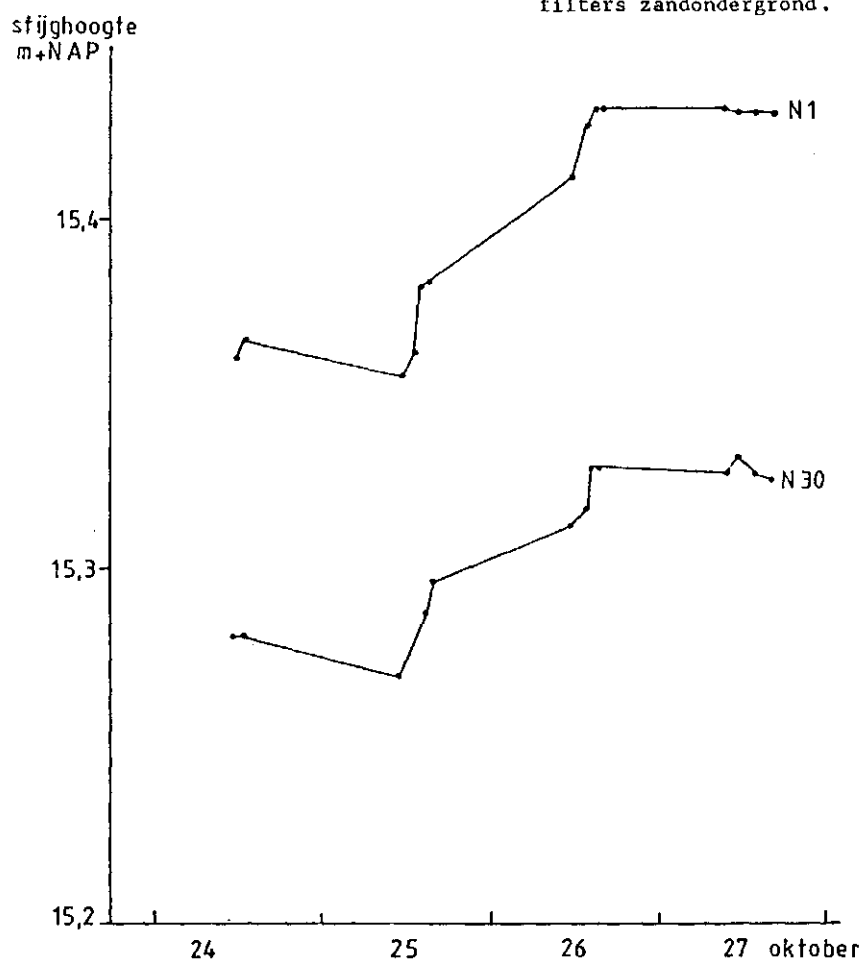
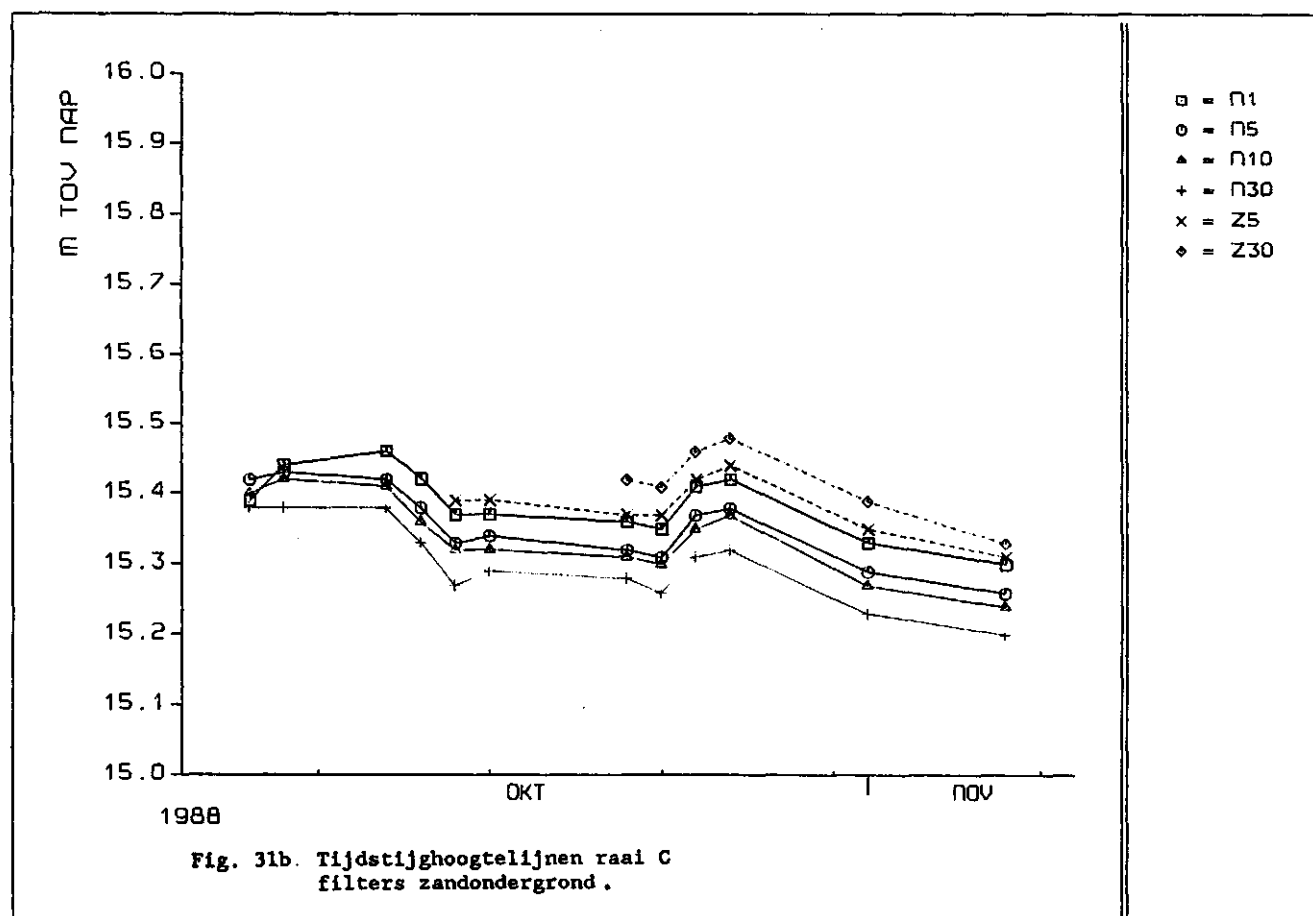
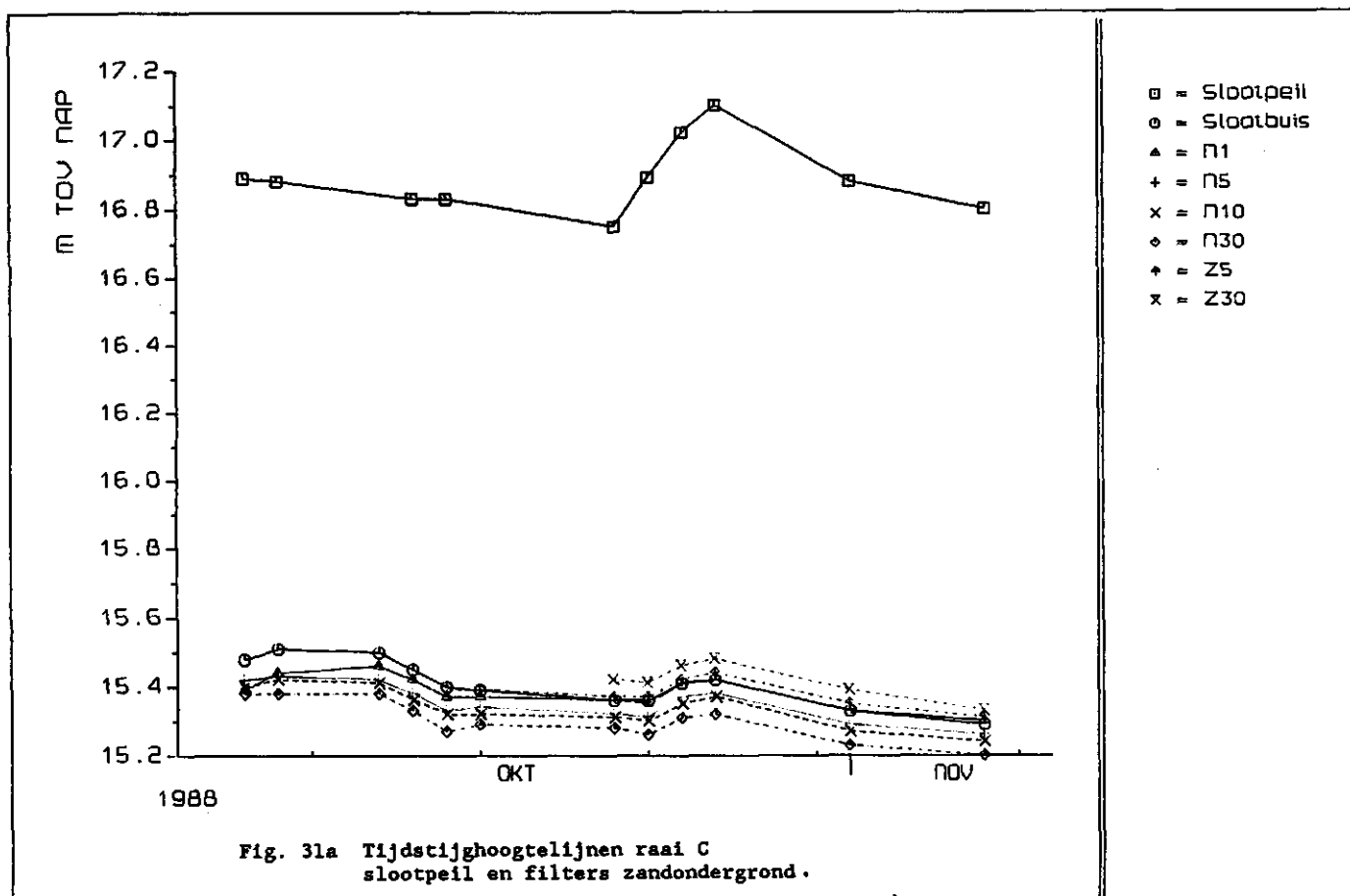


Fig. 30 Tijdstijghoogtelijnen N1 en N30 raai C filters zandondergrond.





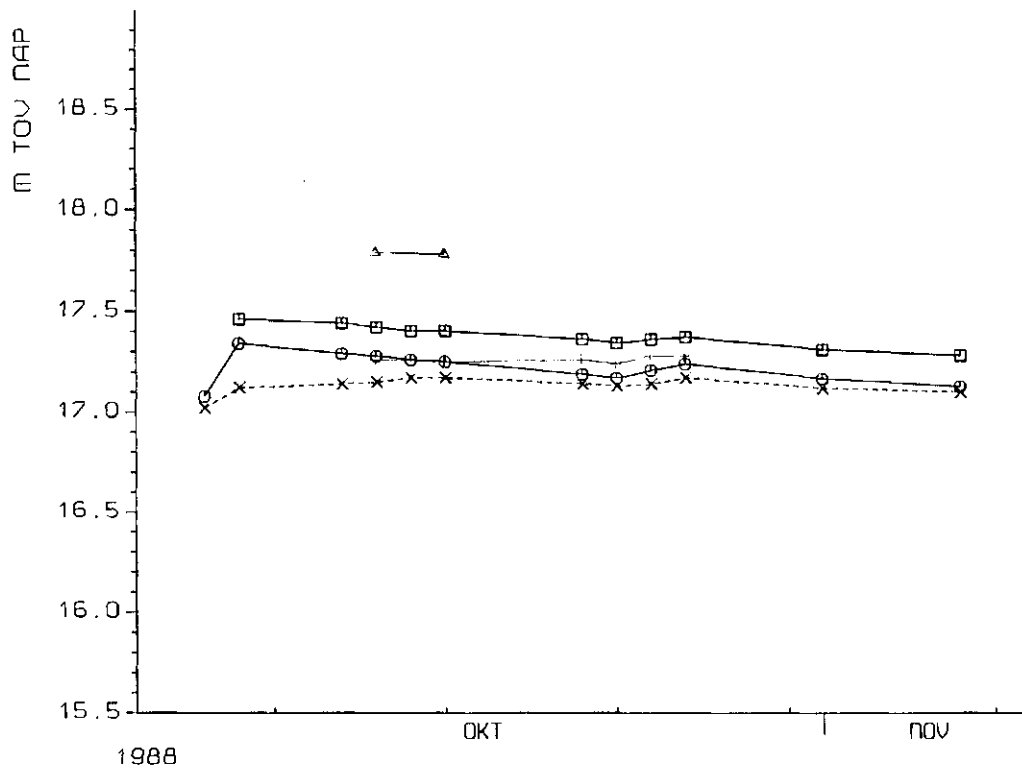


Fig. 31c Tijdstijghoogtelijnen raai C.

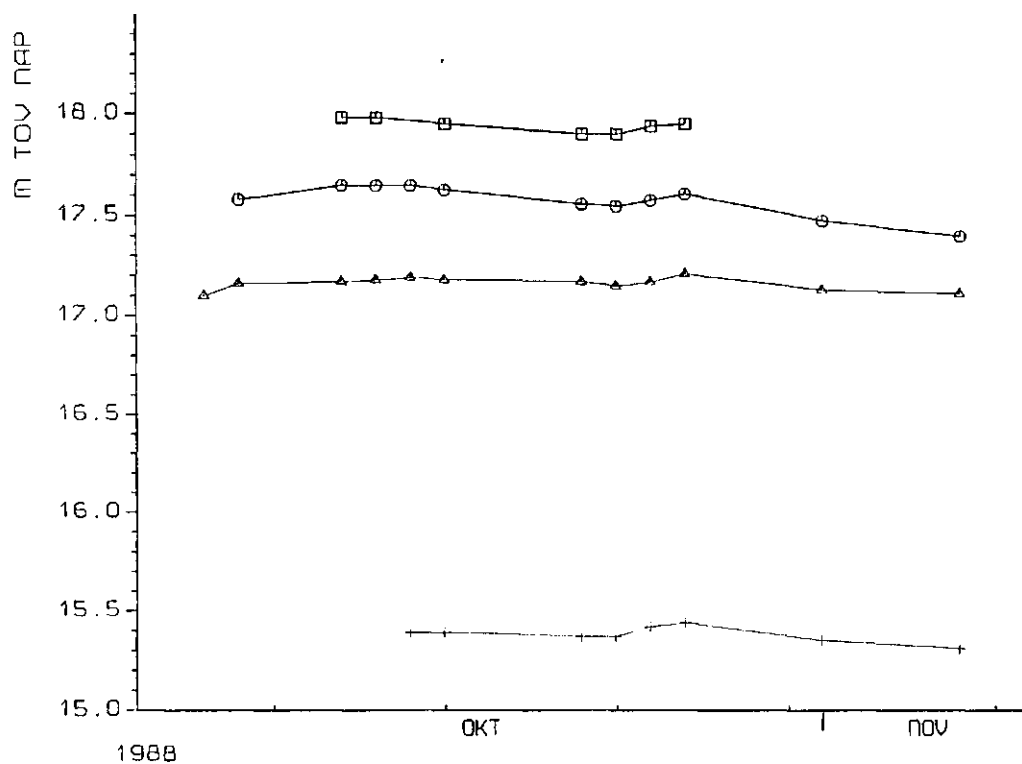


Fig. 31d Tijdstijghoogtelijnen raai C.

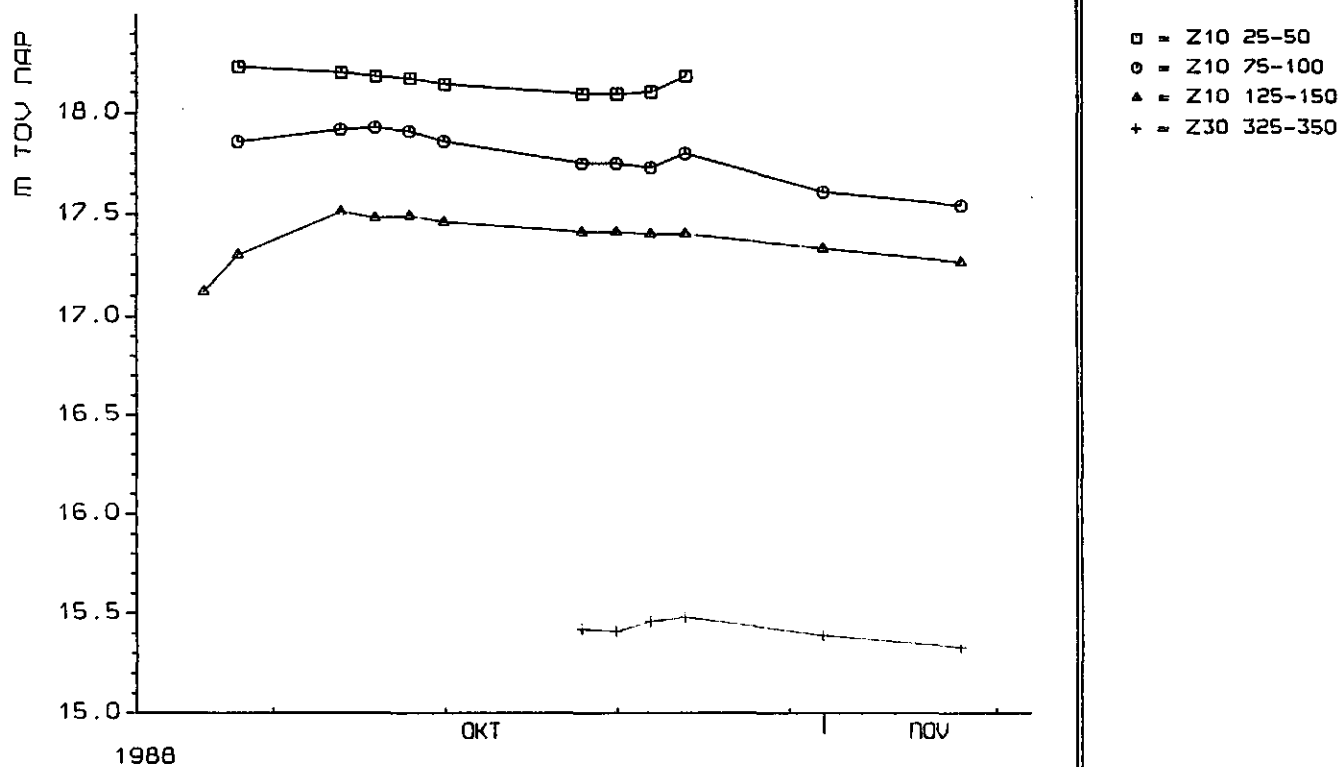


Fig. 31e. Tjdstijghoogtelijnen raai C.

Fig. 32 Stijghoogteverloop zandondergrond raai C.

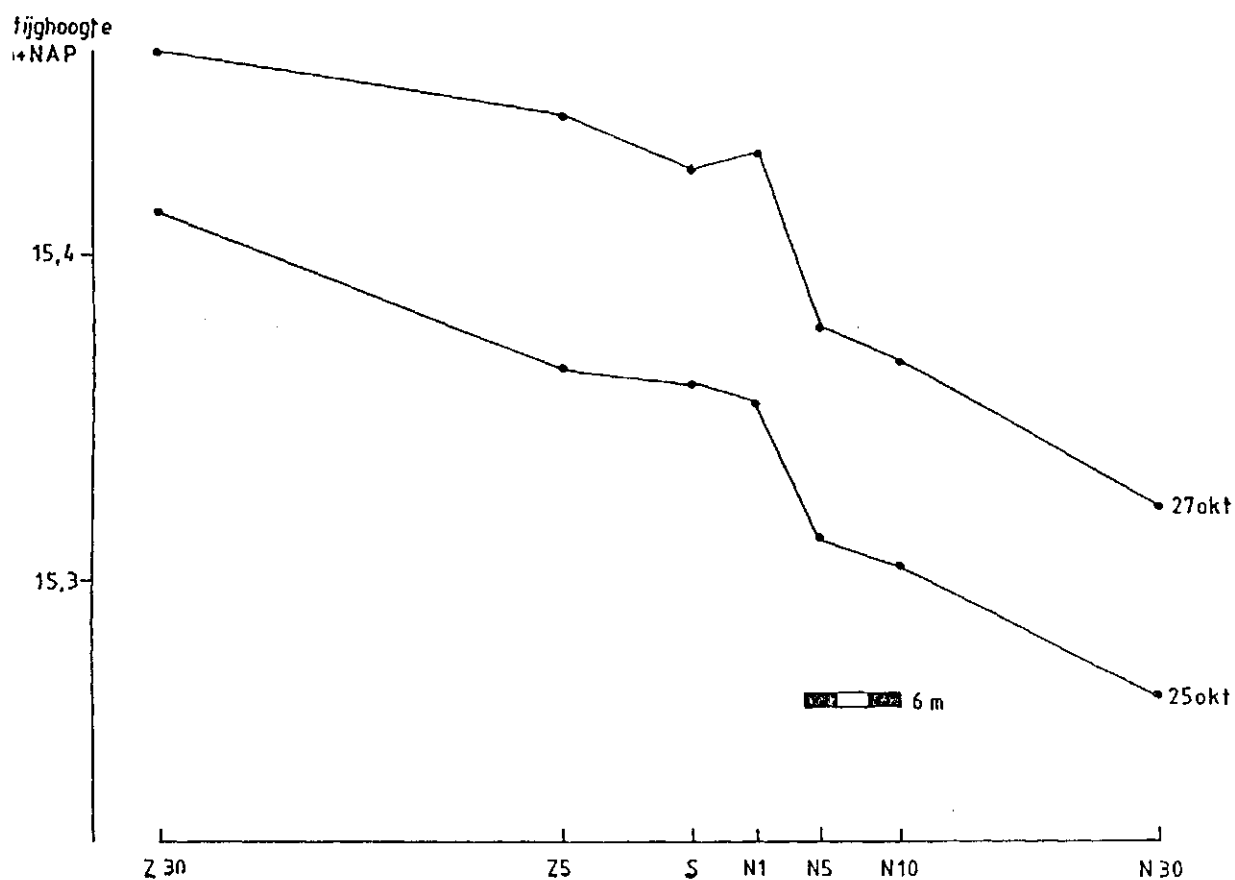


Fig. 33 Relatieve stijghoogteverhoging raai C (25-27 oktober).

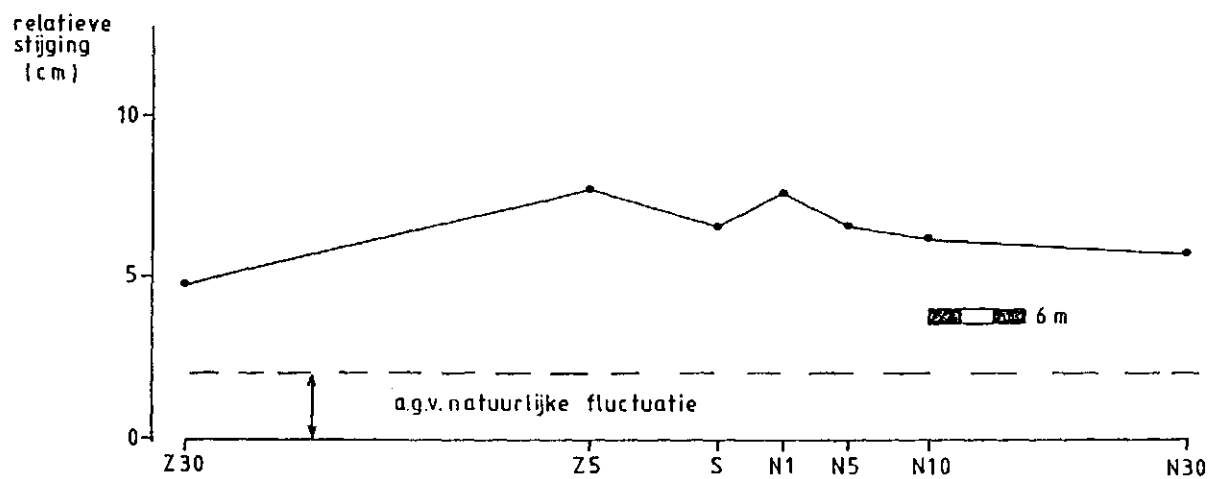


Fig. 34 Kaart met waterlopen.

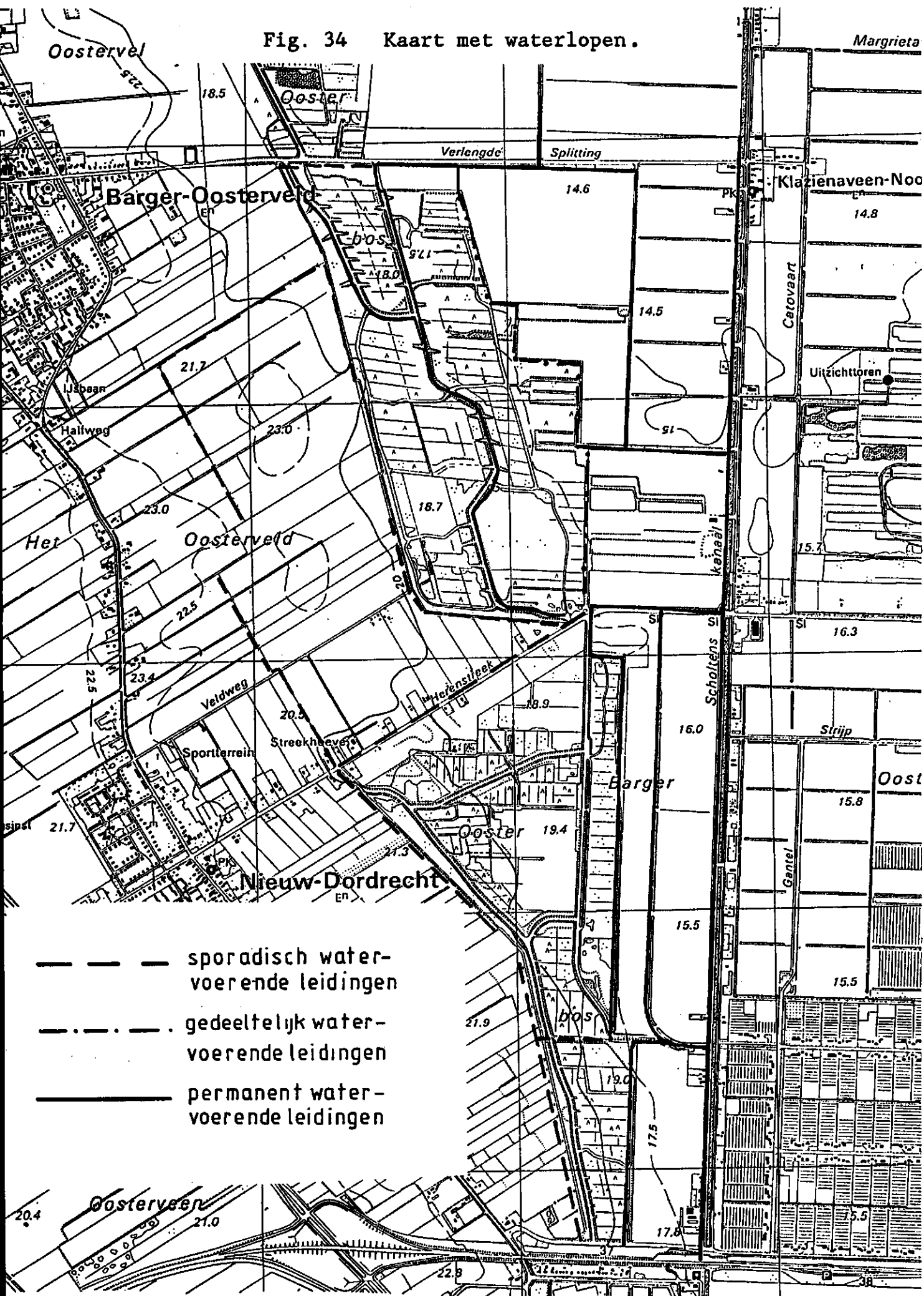


Fig. 35 Waterretentiekarakteristiek.

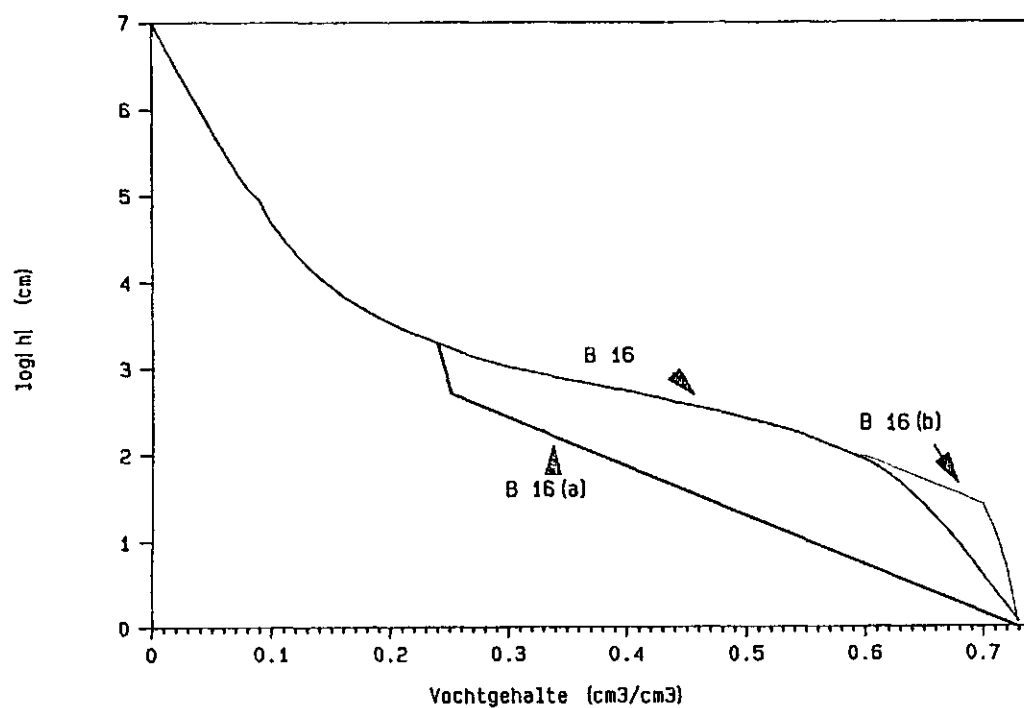
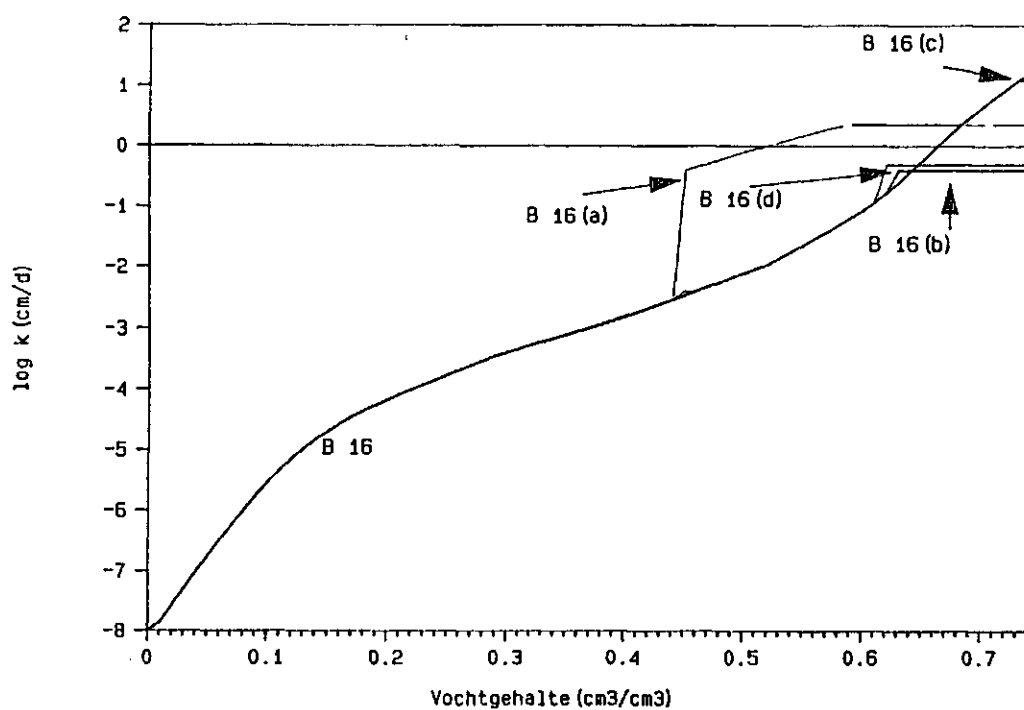


Fig. 36 Doorlatendheidskarakteristiek.



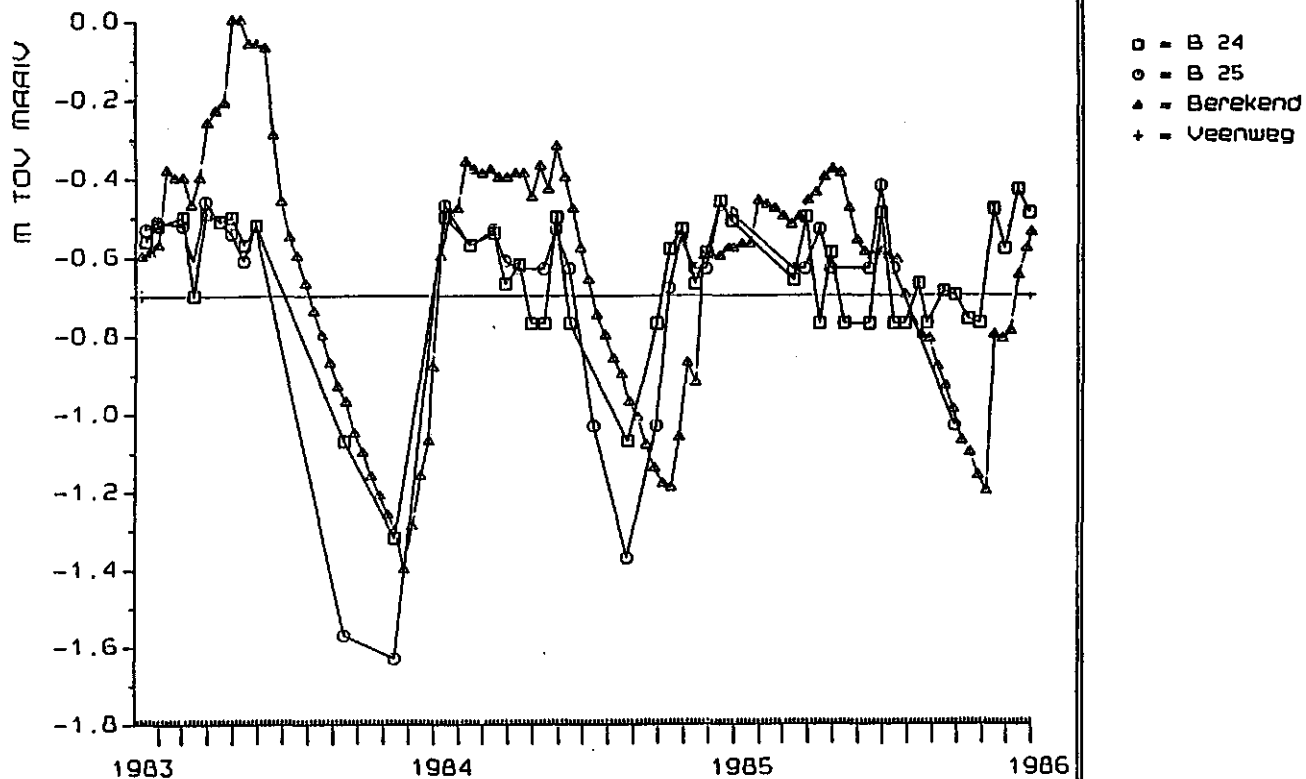


Fig. 37 Gemeten en berekende grondwaterstanden infiltratieproef B25.

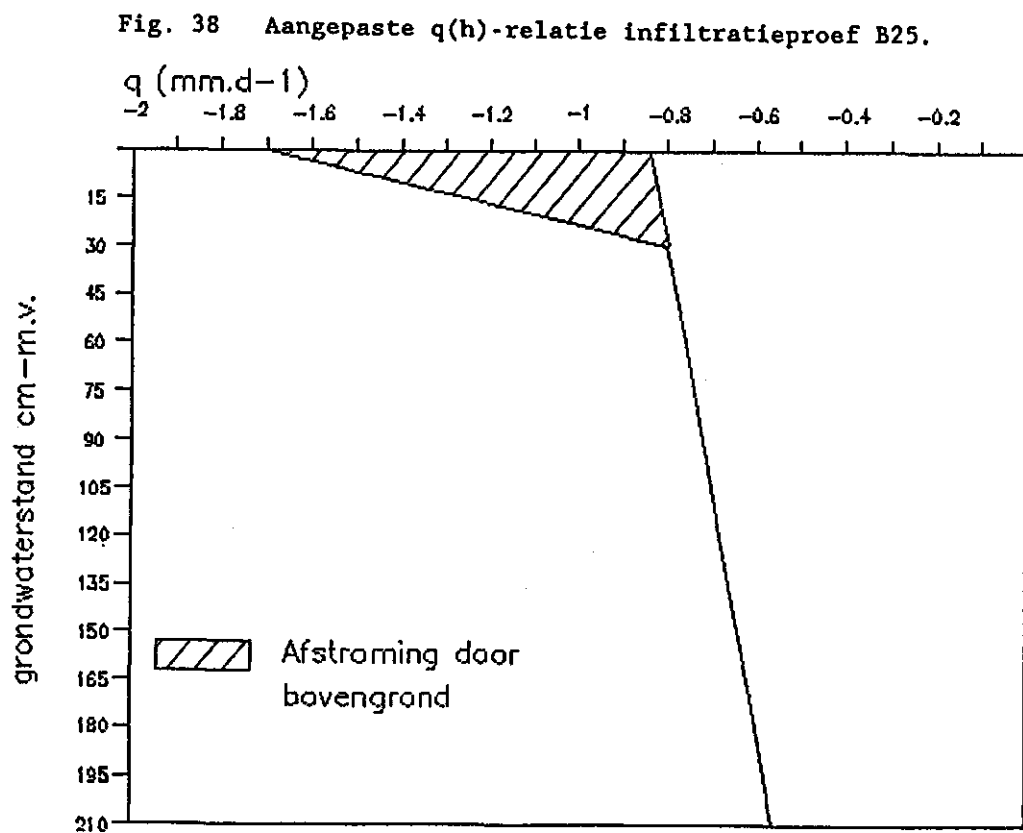
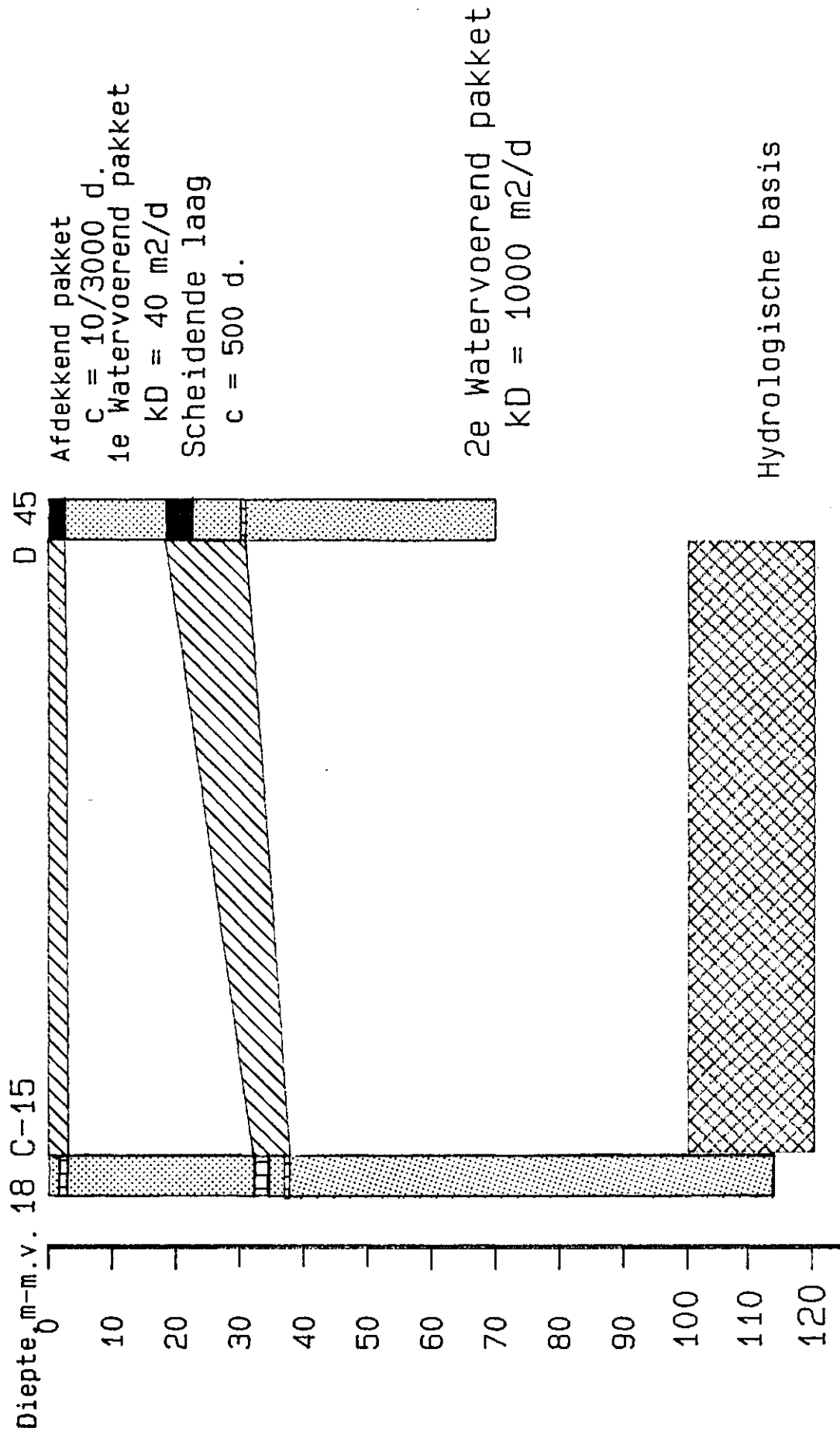
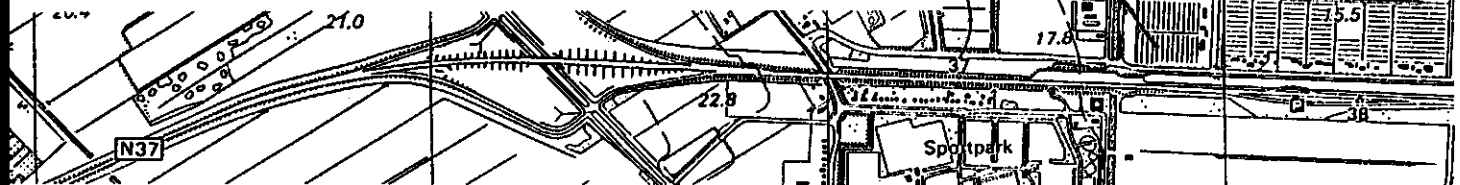
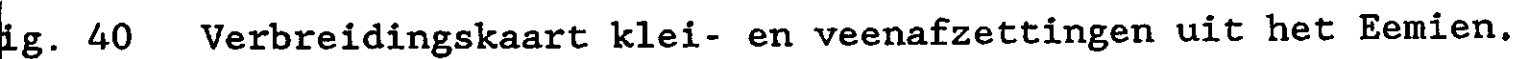
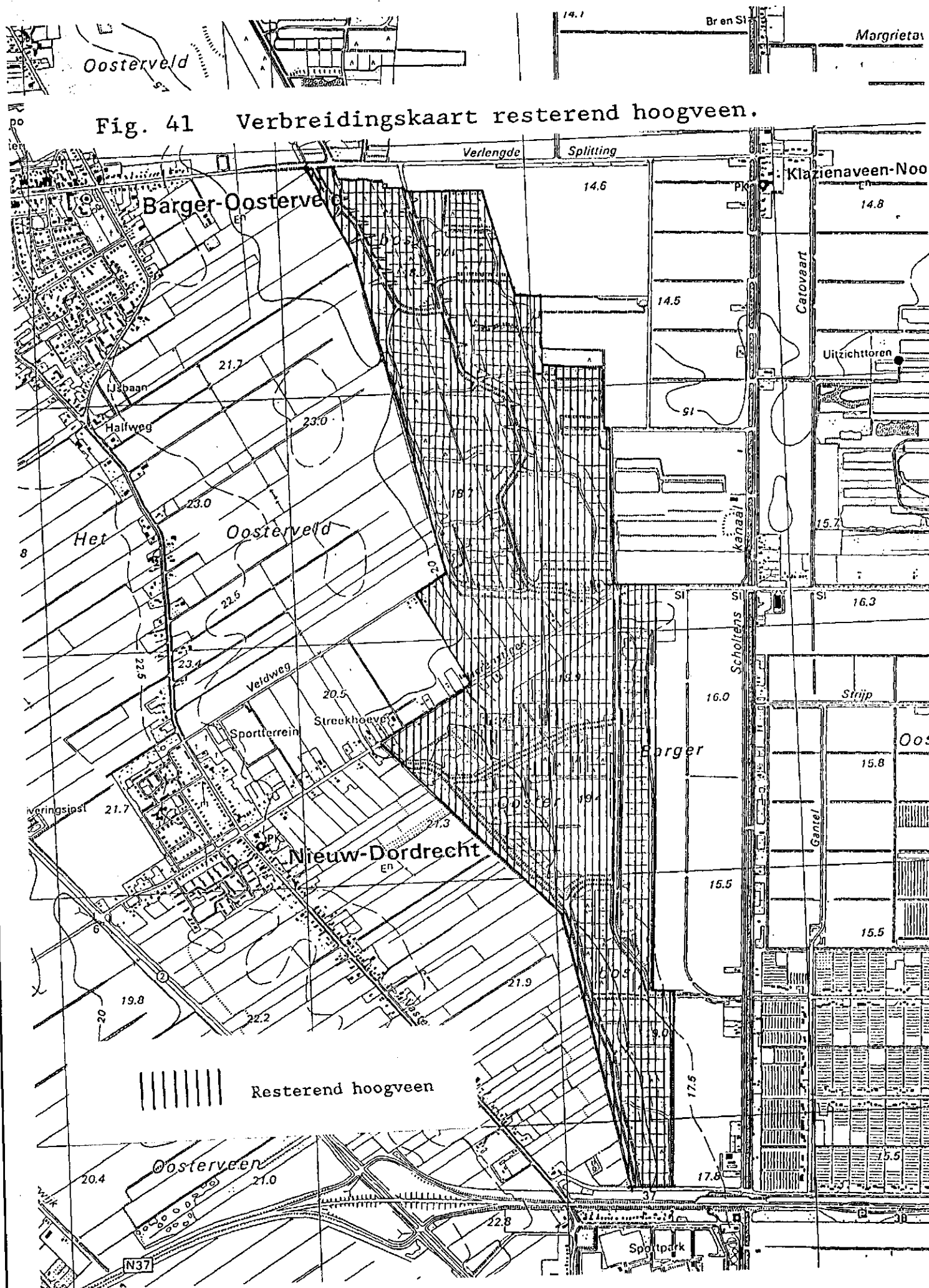


Fig. 39 Geohydrologisch profiel A-A'.







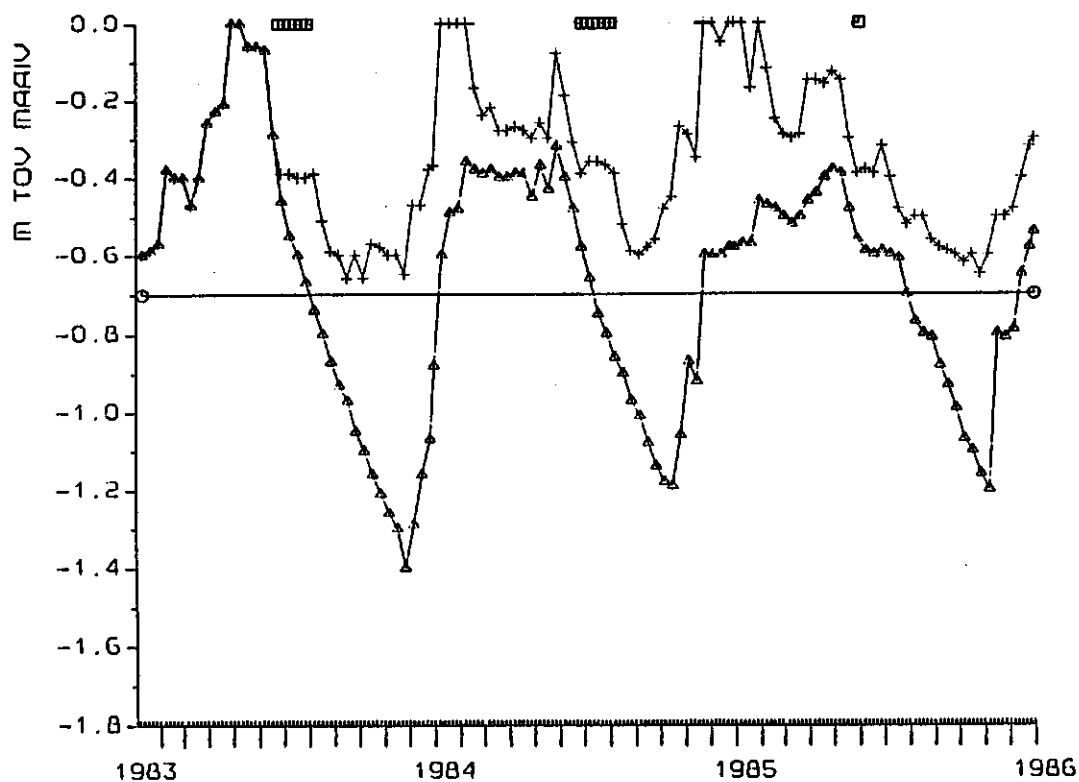


Fig. 42 Berekende grondwaterstandsverloop met en zonder berekening infiltratieproef B25 1983 t/m 1985.

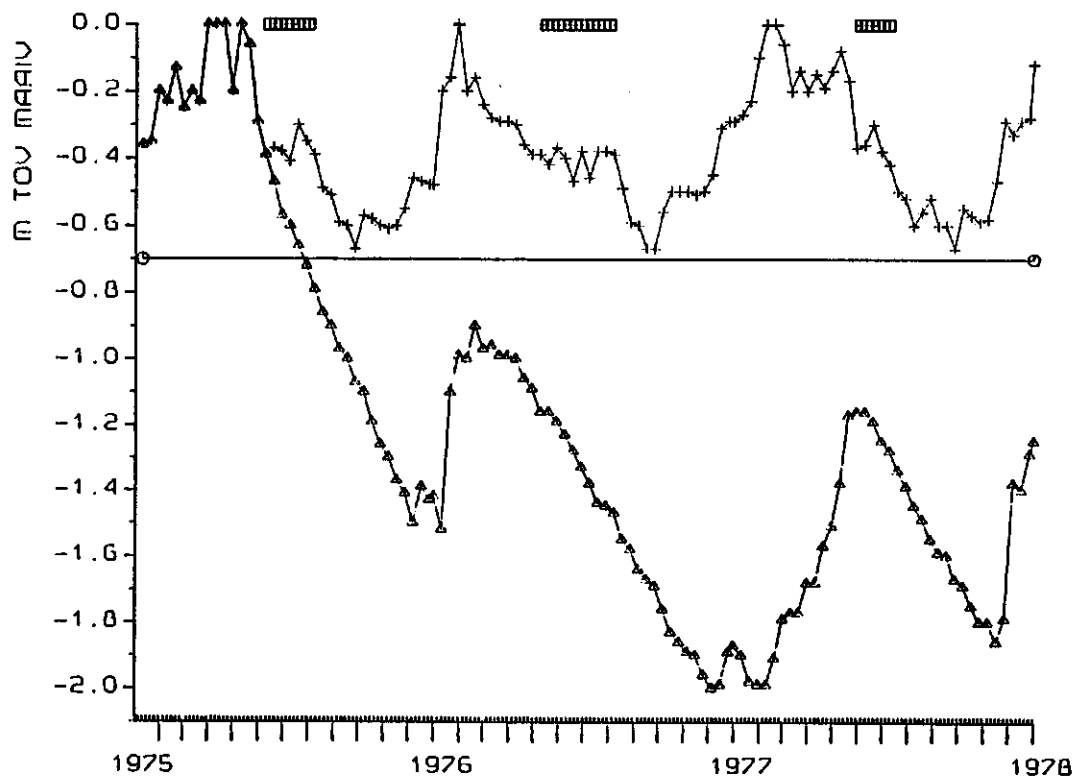


Fig. 43 Berekende grondwaterstandsverloop met en zonder berekening infiltratieproef B25 1975 t/m 1977.

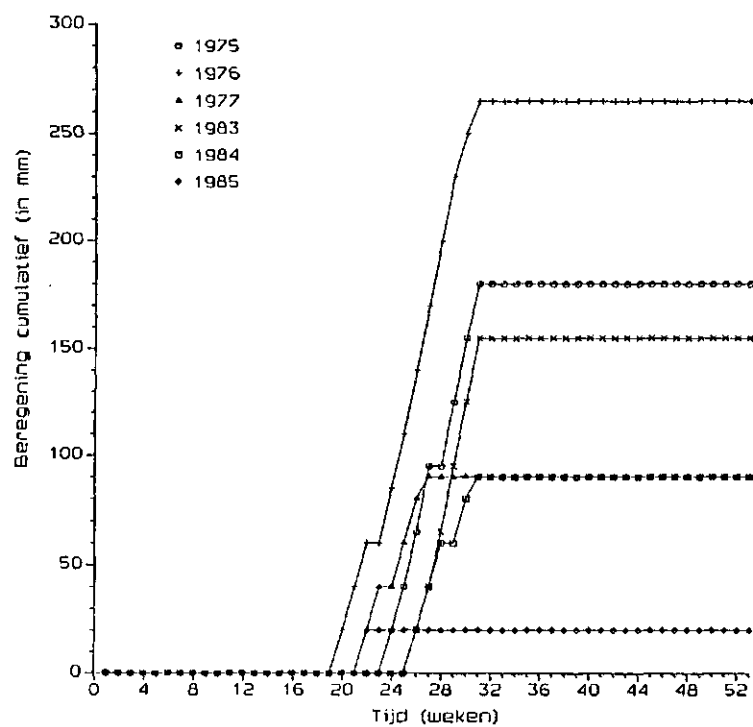


Fig. 44 Cumulatieve beregeningsgift infiltratieproef B25.

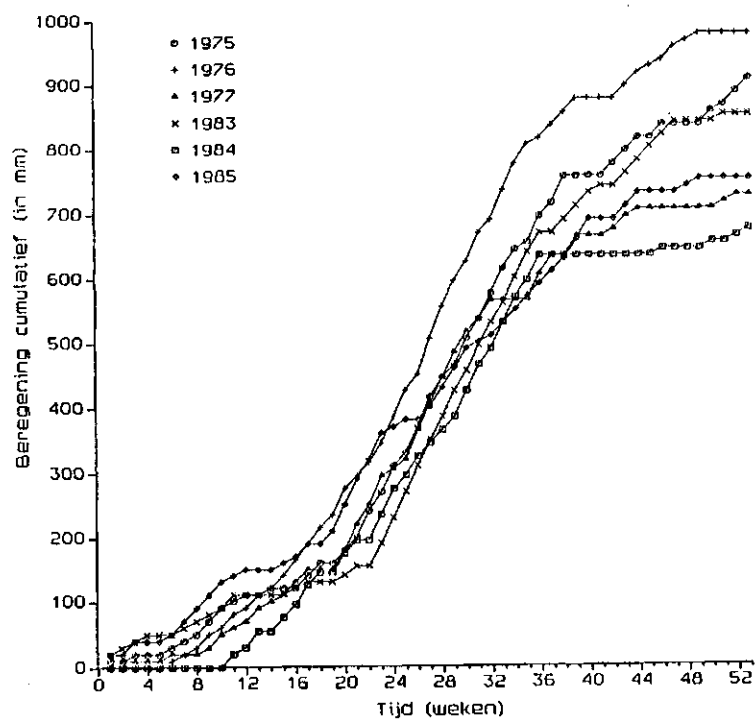
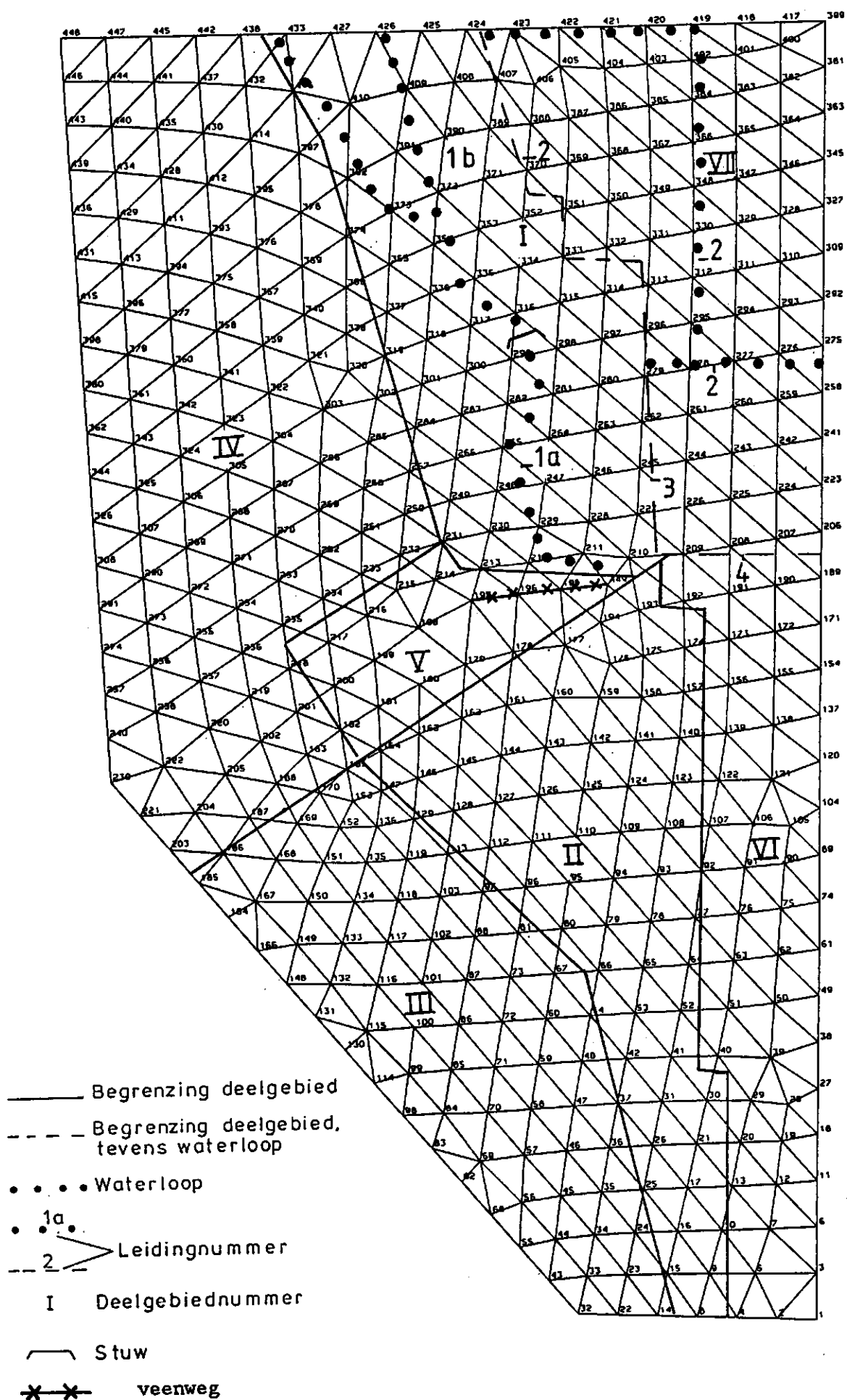


Fig. 45 Cumulatieve beregeningsgift infiltratieproef B26.

Fig. 46 Indeling deelgebieden.



512000
512000

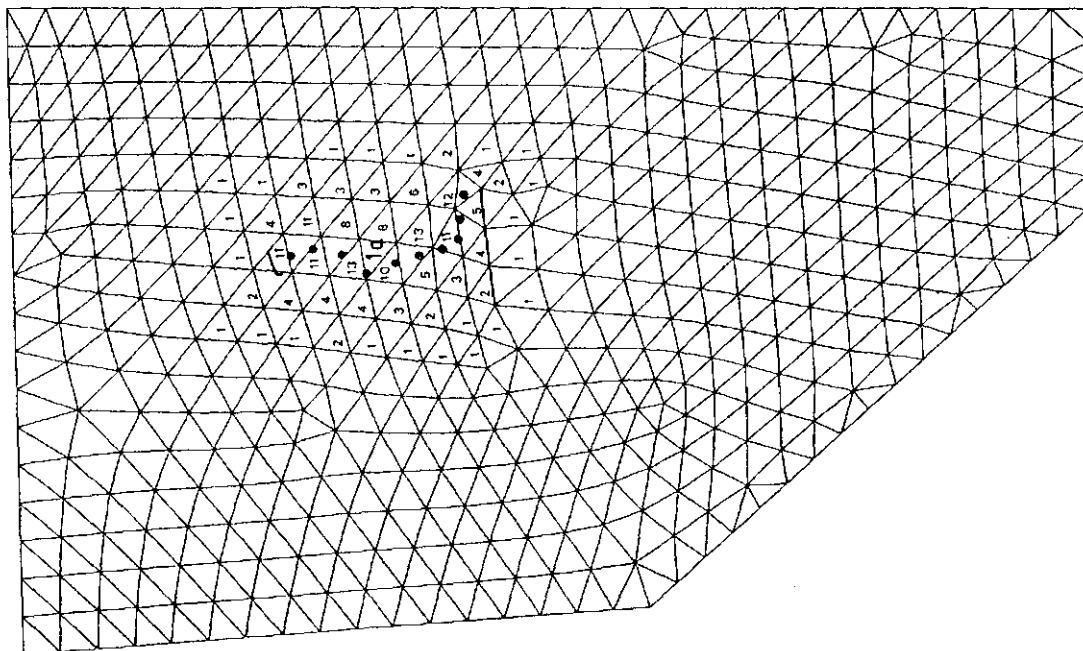


Fig. 48 Effekt peilverhoging waterloop la op stijghoogte zandondergrond (winter).

512000
512000

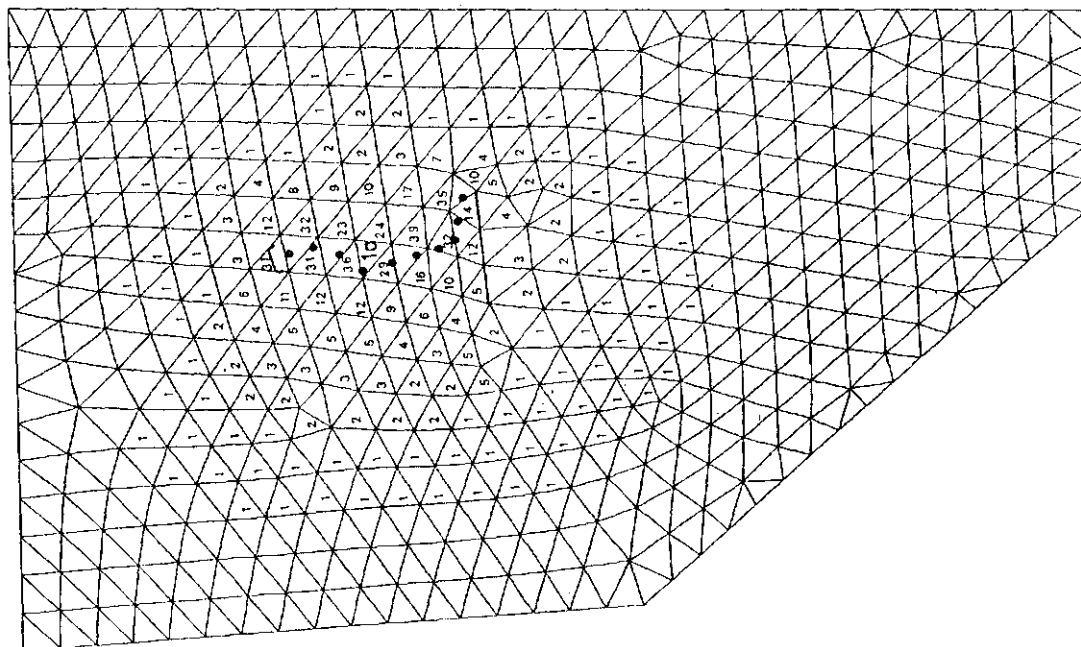


Fig. 47 Effekt peilverhoging waterloop la op stijghoogte zandondergrond (constant).

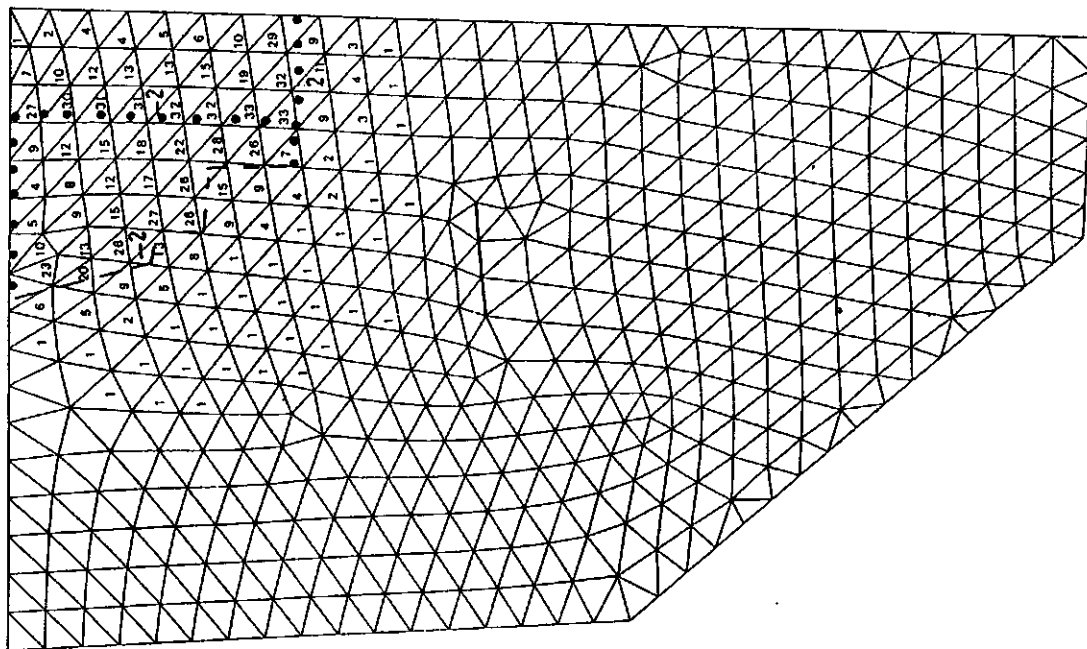


Fig. 49 Effekt peilverhoging deelgebied VII op stijghoogte zandondergrond (zomer).

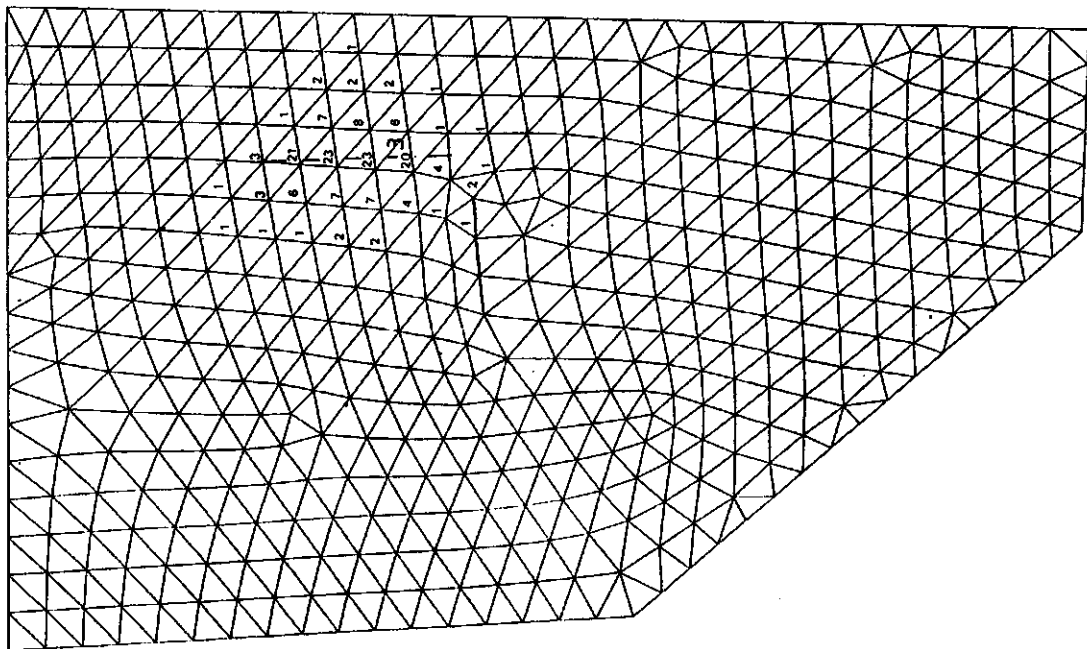


Fig. 50 Effekt peilverhoging leiding nr.3 op stijghoogte zandondergrond (constant).

453002
532005

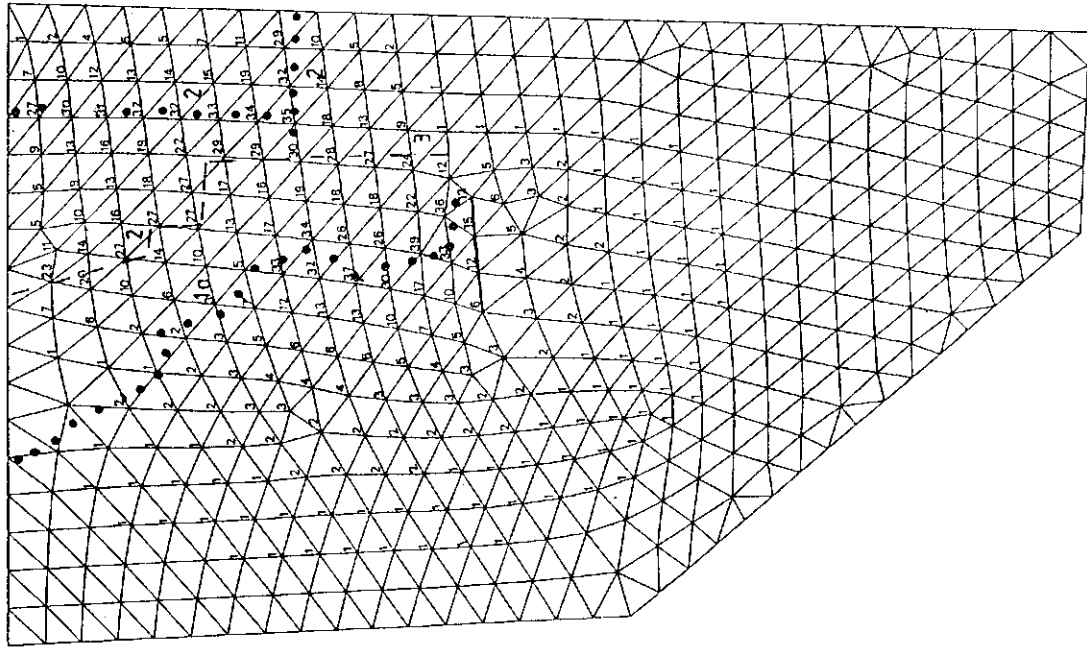


Fig. 51 Totaal effect peilverhogingen op stijghoogte zandondergrond (zomer).

453002
532005

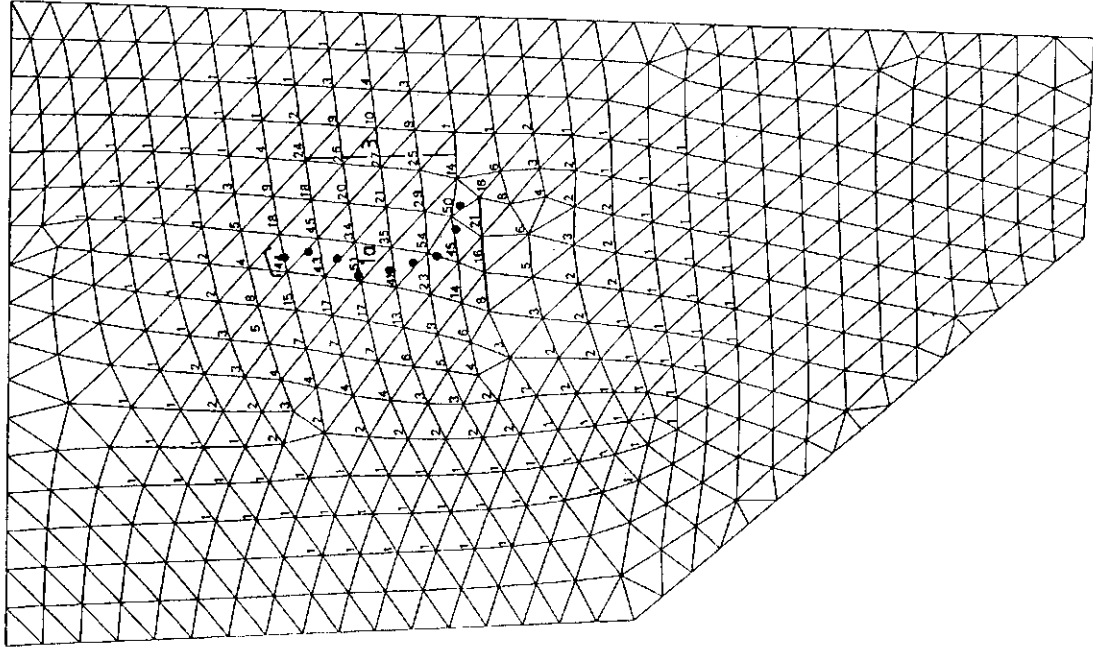
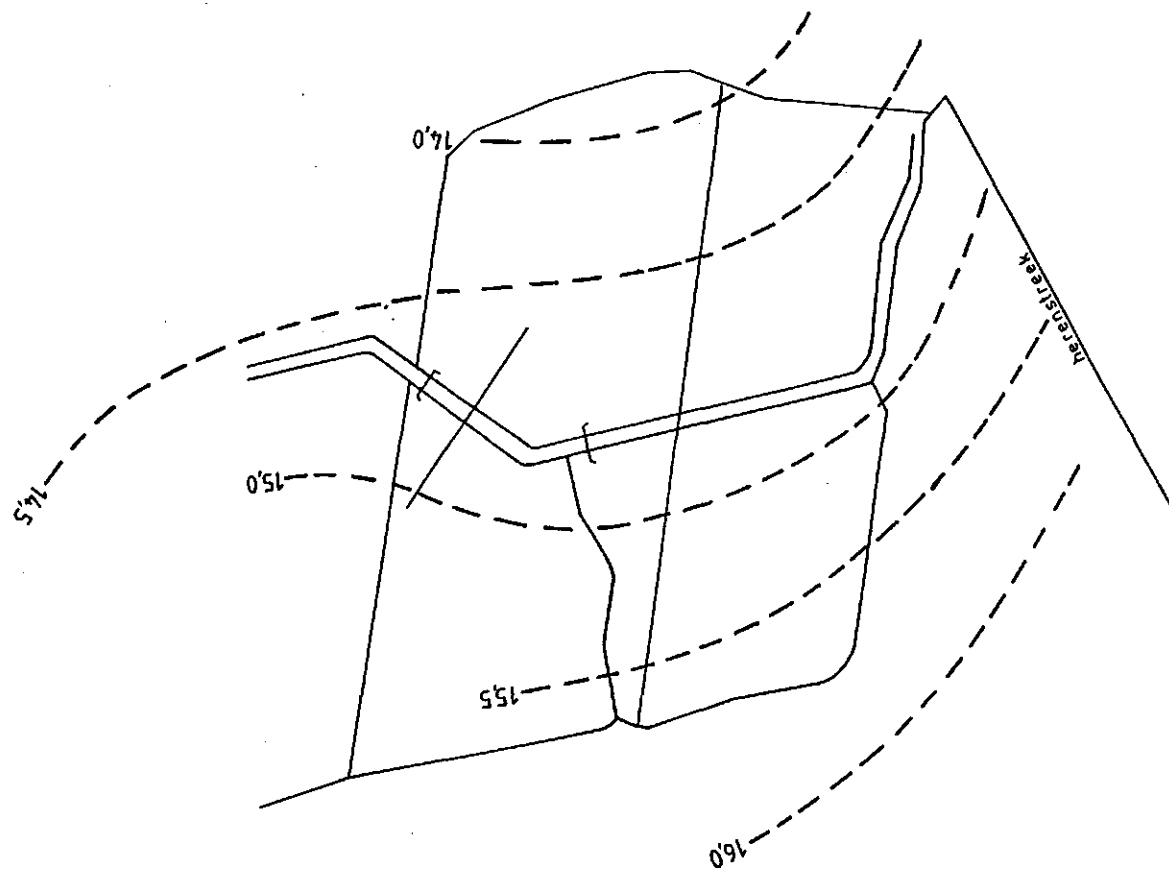


Fig. 52 Totaal effect peilverhogingen op stijghoogte zandondergrond (winter).

Fig. 53 Isohypsenkaart zandondergrond.



14,0 Isohypse 14,0 m + N A P (17-10-'88)

Fig. 54 Profieldoorsnede veenweg.

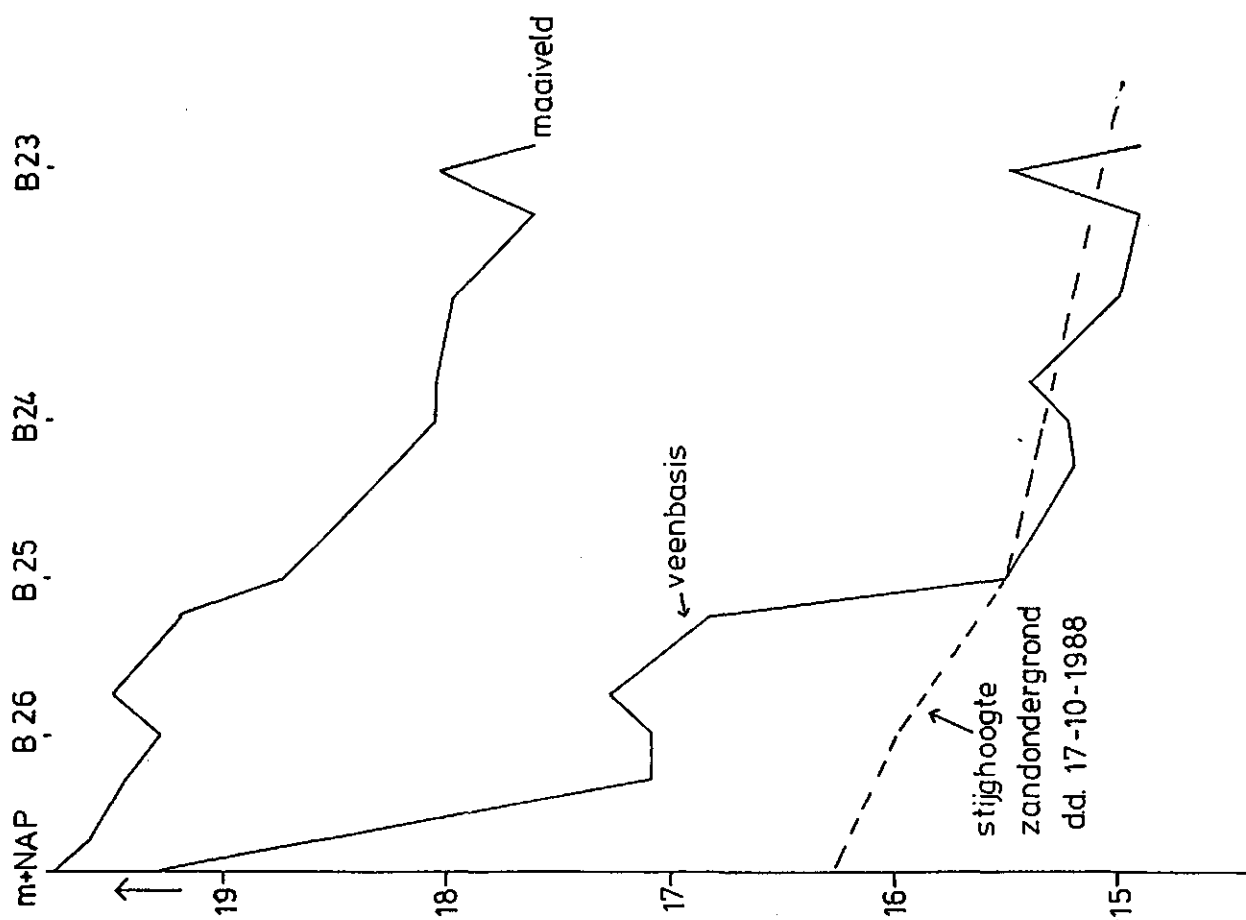
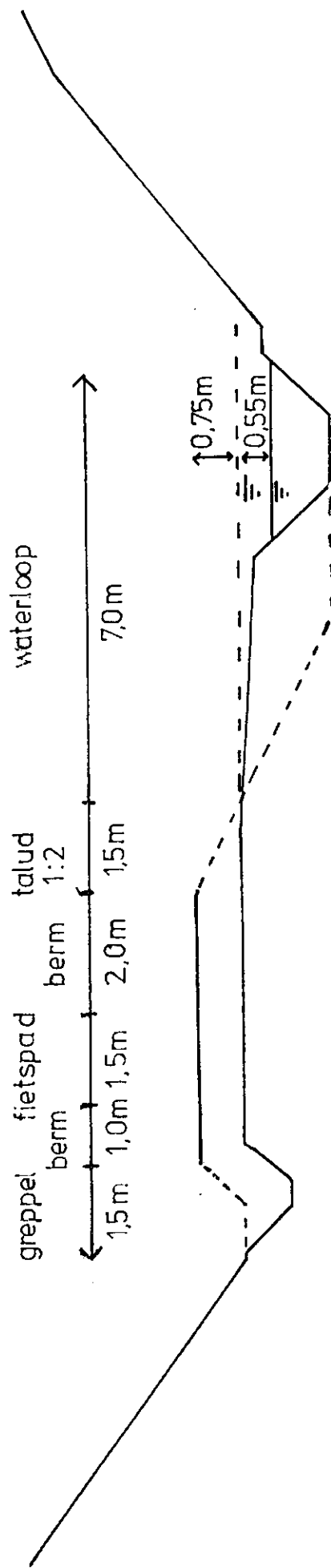


Fig. 55 Ontwerp profiel fietspad .



—— Bestaand profiel beheersweg
 --- Ontwerp profiel fietspad